



DANIELLE VIEIRA GUIMARÃES

**EROSÃO HÍDRICA EM SISTEMAS
FLORESTAIS NO EXTREMO SUL DA BAHIA**

LAVRAS-MG

2015

DANIELLE VIEIRA GUIMARÃES

**EROSÃO HÍDRICA EM SISTEMAS FLORESTAIS NO EXTREMO
SUL DA BAHIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS-MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Guimarães, Danielle Vieira.

Erosão Hídrica Em Sistemas Florestais No Extremo Sul Da
Bahia / Danielle Vieira Guimarães. – Lavras : UFLA, 2015.

93 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. USLE. 2. Erosividade da chuva. 3. Eucalipto. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

DANIELLE VIEIRA GUIMARÃES

**EROSÃO HÍDRICA EM SISTEMAS FLORESTAIS NO EXTREMO SUL
DA BAHIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de Fevereiro de 2015.

Dr. Marx Leandro Naves Silva UFLA

Dr. Nilton Curi UFLA

Dr. Sérgio Gualberto Martins UFSJ

Dr. Marx Leandro Naves Silva

Orientador

LAVRAS-MG

2015

Aos meus pais, Ednélia e José Clóvis.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, pela vida e família na qual fui inserida. Aos meus pais, Ednélia e José Clóvis, pelos princípios passados e pelo fundamental apoio e incentivo para minha realização profissional. Ao meu irmão Alex por acreditar e apoiar minhas escolhas, além de me presentear com o título de “tia de Biel”, o meu ofício mais prazeroso!

Aos meus tios Eusmário, Ednaldo, Gaso e Gilson, minha tia Eulina e minhas primas Luza e Lilinha pelo amor, atenção e carinho.

Ao meu companheiro e amigo José Neto que muito ajudou nesta etapa, sobretudo em termos profissionais.

A Tatiana Paim, pela sólida amizade construída ao longo de anos.

A minha amiga e, não mais oficial, orientadora Maria Isidória por todo o conhecimento transmitido e pela saudável e produtiva parceria mantida.

Ao professor Marx Leandro, meu orientador, por confiar e acreditar em mim, além da oportunidade oferecida e fundamental apoio neste trabalho.

Ao Professor Nilton Curi pelos ensinamentos, disponibilidade e auxílio indispensáveis para conclusão deste estudo. Ao Dr. Sérgio Gualberto por dispor em avaliar e agregar a este trabalho.

Ao Ricardo Previdente e ao Marcos Marinho, bem como à empresa Suzano Papel e Celulose, que apoiaram e viabilizaram este estudo.

Aos amigos e colegas do DCS, pelo apoio e companheirismo, sobretudo a todo o grupo da conservação do solo e da água, pela indispensável ajuda tanto na coleta das amostras quanto na troca de experiências para geração dos dados.

Ao Departamento de Ciência do Solo por tornar possível este trabalho, bem como à CAPES pela bolsa de estudo concedida e ao CNPq e FAPEMIG pelo fundamental apoio.

“Um pouco mais de conhecimento ilumina nosso caminho”

Yoda

RESUMO

Diante os impactos ambientais e econômicos da degradação do solo no ecossistema global, torna-se crescente a necessidade de sistemas de produção agrícola e florestal que visam a sustentabilidade dos solos, minimizando os danos ambientais e assegurando o potencial produtivo das terras. O plantio de floresta homogênea consiste em uma alternativa que alia a produtividade adequada para atender à demanda do mercado com a redução da pressão sobre as florestas naturais. No Brasil, a erosão hídrica representa a principal fonte de degradação ambiental nestes sistemas de produção, resultando em risco de perda da fertilidade dos solos, assoreamento de corpos d'água e poluição dos recursos hídricos devido o carreamento de substâncias tóxicas pela água da enxurrada. A adoção de práticas conservacionistas bem dimensionadas e planejadas é indispensável para a redução dos efeitos degradantes proporcionados pelo processo erosivo, entretanto é necessário ao planejador conhecer as formas e intensidade da erosão na área, as quais são obtidas por estudos em campo e uso de modelos de predição de perdas de solo, contribuindo na tomada de decisões. Diante o exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento das chuvas, fator ativo na erosão hídrica, em Floresta homogênea de eucalipto, bem como as perdas de solo e água, em dois municípios no Extremo Sul da Bahia: Teixeira de Freitas (com Argissolo Amarelo) e Caravelas (em Espodosolo), além de modelar as perdas de solo em uma sub-bacia no Município de Teixeira de Freitas. Para tanto, foi determinado o potencial erosivo das chuvas da região por meio índice de erosividade em 30 minutos (EI_{30}) e as perdas de solo em condições de chuvas naturais. Por fim, foi aplicada a Universal Soil Loss Equation (USLE) para especializar as perdas de solo. A erosividade média anual para o Município de Teixeira de Freitas foi $3.722,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $6.044,29 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o Município de Caravelas. As perdas de solo no Argissolo Amarelo foram muito superiores ao Espodosolo, sendo a cultura de eucalipto capaz de reduzir as perdas de solo e água de maneira eficaz. O modelo de predição de perdas de solo USLE superestimou os valores das perdas.

Palavras-chave: USLE. Erosividade da chuva. *Eucalyptus*.

ABSTRACT

Given the environmental and economic impacts of soil degradation in the global ecosystem, it is increasing the need for agricultural and forestry production systems to the sustainability of the soil, minimizing environmental damage and ensuring the productive potential of the land. The planting of homogeneous forest consists of an alternative that combines the appropriate productivity to meet market demand by reducing the pressure on natural forests. In Brazil, the water erosion is the main source of environmental degradation in these production systems, resulting in risk of loss of soil fertility, siltation of water bodies and pollution of water resources due to the carrying of toxic substances by runoff water. The adoption of well sized and planned conservation practices is essential to reduce the degrading effects provided by the erosive process, however it is necessary to know the planner forms and intensity of erosion in the area, which are obtained by field studies and use models prediction of soil loss, contributing to the decision-making. Given the above , this study aimed to evaluate the behavior of rainfall, active factor in the erosion in homogeneous eucalyptus forest and the soil and water losses in two municipalities in the extreme south of Bahia: Teixeira de Freitas (with Ultisol) and Sailing Ships (in Spodosol), and modeling soil loss in a sub-basin in the city of Teixeira de Freitas. Therefore, we determined the erosive potential of rainfall in the region through erosivity index in 30 minutes (EI_{30}) and soil loss under conditions of natural rainfall. Finally, we applied the Universal Soil Loss Equation (USLE) to specialize soil loss. The average annual erosivity for Teixeira de Freitas Municipality was $3722.0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and $6.044.29 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ for the municipality of Caravelas. Soil losses in the Ultisol was much higher than Spodosol, with eucalyptus culture able to reduce soil loss and water effectively. The prediction model of soil losses USLE overestimated the values of soil loss.

Keywords: USLE. Rainfall erosivity. *Eucalyptus*.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Plantios florestais de eucalipto	11
2.2 Erosão hídrica	14
2.2.1 Perda de solo e água	14
2.2.2 Universal Soil Loss Equation - USLE	16
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS	20
SEGUNDA PARTE	25
ARTIGO 1 Erosividade da chuva e análise de recorrência para a região de Teixeira de Freitas, BA	25
ARTIGO 2 Perdas de solo e água em Argissolo Amarelo e Espodosolo associadas a padrões de chuva	45
ARTIGO 3 Modelagem das perdas de solo em Argissolo Amarelo sob florestas nativas e plantadas na região Sul da Bahia	70

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As perdas de solo provocadas pela erosão acelerada é o principal fator da degradação ambiental em todo o mundo, resultando em empobrecimento dos solos, eutrofização e assoreamento de rios e lagos, danos econômicos devido a perda de produtividade das culturas e abandono de áreas improdutivas, o que intensifica a erosão nas mesmas devido a ausência de cobertura vegetal. Todos estes danos oferecem risco à segurança alimentar e qualidade da água, ressaltando assim a necessidade da conservação do solo.

Diante as condições climáticas do Brasil a forma de erosão mais significativa observada é a erosão hídrica, sendo a erosão eólica pouco expressiva, ocorrendo esta última com maior intensidade em regiões muito específicas, como em algumas áreas do litoral brasileiro.

É o impacto da gota de chuva na superfície do solo que inicia a erosão hídrica, havendo o deslocamento das partículas de solo e posterior desagregação da estrutura, lançando tanto partículas de solo quanto gotículas de água. O transporte das partículas do solo acontece logo em seguida, o qual pode ocorrer com maior ou menor intensidade dependendo da energia cinética da chuva, a qual reduz gradativamente até que alcance energia tão baixa a ponto de favorecer a deposição, finalizando assim o processo erosivo.

Deste modo é possível observar que a chuva, fator ativo na erosão hídrica, é um dos principais promotores das perdas de solo e o conhecimento do seu potencial erosivo, bem como sua distribuição e comportamento, é de grande utilidade para o planejamento conservacionista.

. Devido as diferentes condições climáticas brasileiras torna-se importante o conhecimento do comportamento das chuvas em cada região.

Entretanto, ainda são poucos os estudos para determinação do potencial erosivo das chuvas no Brasil, sobretudo na região Nordeste do país.

A cobertura do solo é essencial para reduzir o impacto da gota de chuva, por meio da interceptação. O cultivo de espécies que proporcionam maior área de copa e, conseqüentemente, maior cobertura do solo tende a reduzir significativamente a intensidade dos processos erosivos, bem como favorecer a infiltração da água, sobretudo quando há rápido incremento de matéria orgânica no solo, como acontece nos plantios homogêneos de eucalipto.

Adicionalmente, a topografia da área, o solo e as práticas conservacionistas adotadas influenciam diretamente nas perdas de solo por erosão. São estes os fatores que compõem a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), ou Universal Soil Loss Equation (USLE), o modelo de predição de perda de solo mais utilizado em regiões com características edafoclimáticas como as do Brasil.

A USLE foi proposta em 1978 e desde então apresenta modificações que colaboram para obtenção de estimativas mais confiáveis de perdas de solo, sobretudo quando aliada a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a qual permite considerar a variabilidade espacial dos processos erosivos.

No contexto apresentado, o presente estudo teve como objetivo determinar o potencial erosivo da chuva e o comportamento da mesma no Extremo Sul da Bahia, além de determinar as perdas de solo e água em floresta homogênea de eucalipto tanto por coletas em campo quanto por modelagem da erosão através da USLE.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plantios florestais de eucalipto

Desde o início do século XX, devido ao aumento populacional, houve uma elevação considerável da demanda de madeira e da necessidade do uso de espécies de eucalipto para geração de produtos madeireiros como lenha, madeira, moirões, entre outros. O incremento adicional de áreas com plantios de eucalipto que ocorreu no mundo a partir de 1945 foi em função da crescente demanda de madeira para produção de celulose, compensados e chapas (LIMA, 1996).

Para Motta et al. (2010), a inserção do eucalipto no Brasil ocorreu em 1904 devido a necessidade de suprir a demanda no Sudeste do país por produtos madeireiros (postes e dormentes). Passadas quase cinco décadas o eucalipto começou a ser usado na indústria de papel e celulose, porém foram nas décadas de 60 e 70 que esta cultura apresentou crescimento significativo devido aos incentivos fiscais.

A crise econômica brasileira que marcou a década de 80, aliada ao fim dos incentivos fiscais, refletiu no decréscimo da produção florestal. Carvalho et al. (2012) citam que, apesar da conjuntura econômica da época, ocorreram avanços tecnológicos na silvicultura brasileira. A partir de 1990 as indústrias objetivaram a produção para exportação, favorecendo uma nova expansão da Eucaliptocultura.

Até a década de 90 a atividade silvicultural demandava um grande nível tecnológico, tornando a cultura onerosa e restrita às empresas florestais. Entretanto a evolução das técnicas silviculturais tem tornado o cultivo mais acessível a pequenos e médios produtores, o que colabora para a fragmentação dos plantios clonais de eucalipto, favorecendo o crescimento socioeconômico da população (XAVIER; SILVA, 2010).

O maior destaque do setor florestal consiste na produção de matéria prima para indústria de papel de celulose, que tem uma importante contribuição econômica, devido a significativa geração de renda e arrecadação de impostos.

Em 2012, o valor bruto da produção gerado pelo setor florestal foi equivalente a 56,3 bilhões, sendo 4,6% superior ao mesmo obtido em 2011. Avaliando todos os seguimentos do setor florestal no Brasil, em 2012 os tributos arrecadados foram de 7,6 bilhões de reais, o que representa 0,5% da arrecadação nacional. O país possui 6.664.812 hectares de plantios florestais (considerando apenas eucalipto e pinus), dos quais 76,6% correspondem à cultura de Eucalipto (ABRAF, 2013).

Em 2013 o Brasil ocupou o quarto lugar entre os produtores mundiais de celulose, com 15,1 milhões de toneladas produzidas, ficando no 9º lugar entre os principais fabricantes de papel do mundo, com a marca de 10,4 milhões de toneladas (IBÁ, 2014).

As florestas plantadas têm também grande importância ambiental, sendo competente na estocagem de carbono, na melhoria da fertilidade do solo, da ciclagem de nutrientes e favorece a proteção das bacias hidrográficas quando substituem áreas degradadas. São utilizadas ainda para recuperação de ambientes em desequilíbrio devido a atividades agrícolas, mineradoras e pecuárias.

Apesar dos benefícios dos plantios de eucalipto para a economia brasileira e para conservação das florestas nativas, por reduzir a exploração madeireira nos ecossistemas naturais, o impacto da cultura pode ser significativo quando não há um manejo adequado.

As práticas de preparo do solo para implantação de floresta de eucalipto, bem como o trânsito de máquinas pesadas durante a colheita da madeira, podem gerar danos ao meio edáfico e comprometer sua qualidade. Chaer e Tótola (2007) afirmam que solos com características qualitativas adequadas são primordiais para a elevação da produtividade dos plantios, visto que este é fonte de água e nutrientes para as plantas.

Pires et al. (2006) citam dois principais métodos de preparo do solo utilizados na silvicultura brasileira: o preparo convencional com aração e

gradagem e o cultivo mínimo, com manutenção da cobertura vegetal, sendo este último o mais adequado por assegurar a conservação do solo e da água.

Dentre os impactos negativos que as atividades silvícolas podem causar ao solo, quando o manejo é inadequado, destaca-se a ocorrência de erosão hídrica, a qual representa um risco de redução da produtividade e promove o aumento da degradação ambiental (BRITO et al., 2005).

2.2 Erosão hídrica

As práticas de preparo do solo que antecedem a implantação de um projeto florestal tendem a alterar as propriedades físicas da camada superficial e subsuperficial do solo, favorecendo a erosão hídrica. As características físicas, químicas e biológicas do solo, o relevo da área, o regime hídrico e a cobertura do solo podem colaborar para a perda de solo por erosão hídrica.

2.2.1 Perda de solo e água

As perdas de solo e água por erosão hídrica sofrem variações em função das práticas agrícolas, como trânsito de máquinas pesadas na área, colheita e preparo do solo, os quais alteram as propriedades físicas do solo, desestruturando-o, alterando sua densidade, sua capacidade de infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial e, conseqüentemente, tornando o solo mais susceptível a erosão hídrica (BAPTISTA; LEVIEN, 2010).

A quantidade de solo perdido pode variar de acordo com a cultura, a classe de solo e as práticas adotadas. Estudo desenvolvido por Martins et al. (2010) mostra a variação das perdas de solo em sistema de cultivo de eucalipto em Argissolo Amarelo textura média/argilosa, Plintossolo Háplico distrófico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, onde o cultivo de eucalipto

proporcionou redução de 64%, 39% e 96% das perdas de solo, respectivamente, quando comparada a uma área sem cobertura vegetal.

A adoção de práticas como o cultivo mínimo empregada na área do citado estudo favorece a proteção do solo e reduz as perdas por erosão. Entretanto a cultura de eucalipto morro abaixo e sem manutenção dos restos culturais na área pode tornar o solo mais suscetível à erosão hídrica (SILVA et al, 2011)

Perdas de solo, quando significativas, resultam em empobrecimento e degradação do mesmo, redução da sua aptidão agrícola e lixiviação de nutrientes, a combinação destes fatores favorece a redução da produtividade da cultura. Segundo Bertol et al. (2007) a erosão hídrica em solos cultivados é um grave problema, tendo como efeitos a lixiviação dos elementos disponibilizados no solo por meio de adubação, gerando prejuízo financeiro não somente pela redução da produtividade da culturas, mas também pelo custo da adubação.

Para Cardoso et al. (2012), as perdas de solo e elementos a este associados, colocam em risco a qualidade da água devido ao assoreamento e a eutrofização de cursos d'água, refletindo assim não somente no dano econômico ao produtor, mas também à sociedade.

A estimativa de erosão em sistemas de produção vegetal faz-se importante na detecção de problemas ambientais, sendo útil na decisão das práticas de manejo e conservação a serem adotadas na área, planejamento das atividades agrícolas e adoção de técnicas que visem minimizar a degradação e garantir a produtividade do solo (MARTINS et al., 2003).

De acordo com Portela et al. (2011), entende-se perda de água por erosão hídrica como a quantidade de água da chuva não infiltrada e não retida, com ausência de processos de retenção e detenção superficial nas zonas de armazenamento do solo durante a ocorrência de um evento erosivo, deste modo a água escoar superficialmente em maior velocidade. Quanto à perda de solo por

erosão hídrica, segundo os mesmos autores, trata-se da remoção de solo da superfície, em uma determinada área, pela ação da enxurrada, havendo deposição do material erodido em uma área de sedimentação.

O estudo de perdas de solo pode ser realizado por métodos diretos ou indiretos. A metodologia direta consiste na alocação de parcelas de perda na área, onde o material erodido pela chuva é coletado e pesado. A lâmina de água é mensurada e obtém-se o valor de perda de solo e água. A metodologia indireta consiste na modelagem matemática, que geralmente está associada a técnicas de geoprocessamento, ferramenta importante para a recomendação do manejo adequado do solo.

Para Prochnow et al. (2005), os modelos de predição de perdas de solo por erosão hídrica, objetivando o planejamento de uso da terra, torna possível a comparação entre a tolerância de perda de um solo e as perdas efetivas deste, sendo importante tanto para a agricultura quanto para o meio ambiente. Os autores ressaltam a necessidade da validação dos modelos para o local estudado em virtude da variação de clima e solo.

O modelo de predição para tal finalidade mais usado em países tropicais, como o Brasil, é a Universal Soil Loss Equation (USLE), a qual considera como fatores determinantes das perdas de solo a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, a topografia do local, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas adotadas.

2.2.2 Universal Soil Loss Equation – USLE

A USLE apresenta-se como uma equação relativamente simples, com poucos fatores e adequada para diversas condições de clima. Segundo Chaves (2010), a associação entre a razoável exatidão na estimativa da erosão e sua aplicação simples, permite um uso praticamente universal.

Apesar dos poucos dados de entrada, sendo apenas seis fatores, esta equação apresenta como uma das dificuldades de aplicação a demanda por uma extensa base de dados, superior a 20 anos de observações. De acordo com Silva et al. (2010), não é incomum a realização de estudos de erosividade, o fator R (erosividade – R) da USLE, utilizando um banco de dados de precipitação com o número de anos observados inferior a recomendação de 20 anos. Isto ocorre devido a grande dificuldade de obtenção da base de dados pluviográficos no Brasil.

De acordo com Avanzi et al. (2013), a união da USLE com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma alternativa de grande eficácia e adequada para estimar a magnitude e distribuição espacial da erosão. Os autores afirmam que o resultado desta combinação permite uma análise da erosão do solo em profundidade devido a possibilidade do processo ser aplicado de acordo com sua variabilidade espacial.

Corroborando com o exposto, Pastor et al. (2010) afirmam que o uso de SIG para modelagem de processos de degradação do solo, notavelmente a erosão, é de grande utilidade por avaliar de modo eficaz a complexidade do solo e seus múltiplos atributos.

Proposta por Wischmeier e Smith (1978), a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) considera a perda como produto da combinação dos seguintes fatores:

Erosividade da chuva (R): O fator R da equação universal de perdas de solo é compreendido como o potencial da chuva em causar erosão, este fator é de grande importância nos estudos de perdas de solo e costuma ser expresso por índices baseados no comportamento pluviométrico da área, com destaque para o EI₃₀. Silva et al. (2010) afirmam que o EI₃₀ é o mais apropriado para locais com características edafoclimáticas como as do Brasil e por isso é o mais usado em estudos sobre erosividade das chuvas nas regiões brasileiras.

Diversos estudos no Brasil indicam que o EI_{30} apresenta uma boa correlação com as perdas de solo por erosão. Oliveira et al. (2012), em levantamento de estudos sobre erosividade no Brasil, contabilizaram 73 equações de regressão para calcular erosividade nas diversas regiões brasileiras. Entretanto tais equações não podem ser extrapoladas de forma generalizada, tendo o risco de subestimar ou superestimar os valores de erosividade, deste modo tornam-se necessários estudos sobre o clima local para determinar qual equação é mais adequada para a região de interesse. Os autores afirmam ainda que existem poucos estudos sobre erosividade no Brasil e que a maioria destes estão concentrados no sul e sudeste, havendo carência destas informações nas demais regiões brasileiras.

Problemas relacionados ao estudo da erosividade referem-se a recomendação de, pelo menos, vinte anos de dados para realização das análises e falhas nas séries históricas. Aquino et al. (2008) citam que a dificuldade dos estudos de erosividade no Brasil se dá sobretudo pela dificuldade de acesso aos pluviogramas, e quando há disponibilidade de acesso nem sempre os registros são contínuos para longos períodos de observações.

Erodibilidade do solo (K): Correspondente ao fator K da equação universal de perdas de solo. A erodibilidade reflete a susceptibilidade de um solo à erosão hídrica, sendo influenciada pelas características químicas, físicas e biológicas do solo.

De acordo com Martins et al. (2011), a erodibilidade é efeito dos processos reguladores da infiltração da água e, da ação desagregante do impacto da gota de chuva e da resistência ao transporte de sedimentos pelo escoamento superficial, sendo todos estes responsáveis pelo comportamento do solo frente a ação erosiva das chuvas. Os autores afirmam ainda que não é apropriado definir a erodibilidade de um solo com base apenas na sua classificação, sendo importante o estudo deste fator nas distintas regiões brasileiras.

Eduardo et al (2013) corroboram com o exposto ao citar a escassez de literatura sobre o assunto no Brasil, necessitando de pesquisas nos diferentes locais em virtude da grande variabilidade edafoclimática encontrada no país.

Fator Topográfico (LS): A declividade (S) e o comprimento da rampa (L) compõem o fator topográfico da USLE. O fator L representa o comprimento entre o ponto inicial do escoamento superficial e o ponto de deposição de sedimentos ou o local onde a água escoada entra nos canais de drenagem. Quanto a declividade (S), esta se refere à variação do declive no intervalo da vertente (NEVES et al., 2008). Áreas mais declivosas são mais susceptíveis a erosão que aquelas com relevo plano ou suave ondulado.

Estudo realizado por Chaves (2010) sobre predição da erosão em área homogênea situada no Distrito Federal indicou que a introdução de terraços em nível foi capaz de reduzir até 72 % do comprimento de rampa e gerou aumento de 24% da declividade da área. Tal aumento ocorreu devido as características topográficas da encosta. O efeito disto foi a redução de 73% da perda de solo proporcionada pelo sistema de terraços em relação à condição original, mostrando assim a influência do fator topográfico nas perdas de solo.

Cobertura do solo (C) e Práticas conservacionistas (P): De acordo com Santos et al. (2007), em estudo de perda de solo no semiárido da Paraíba, apresentaram as várias maneiras que a cobertura do solo pode influenciar nas perdas por erosão: a) Por meio da interceptação reduzir o volume de água que chega ao solo; b) alterar a distribuição do tamanho das gotas de chuva e consequentemente afetar a energia cinética da chuva; c) atuar sobre o escoamento superficial; d) interferir no balanço hidrológico e, por fim, e) influenciar nas variações sazonais da interceptação das gotas de chuva no solo.

Para Cantalice et al. (2009), uma das alternativas para reduzir as perdas de solo por erosão é a manutenção da cobertura vegetal no solo, que se torna eficaz por evitar o impacto das gotas de chuva e dissipar sua energia cinética ,

reduzindo o escoamento superficial e aumentando a rugosidade hidráulica da superfície do solo, resultando na redução da velocidade da enxurrada.

Não somente a espécie usada para cobertura do solo como também a idade da cultura são importantes para redução de perdas de solo e água. Oliveira et al. (2013), em estudo de perdas de solo ocasionadas pela erosão hídrica em florestas plantadas de eucalipto em diferentes estádios de desenvolvimento, observaram que as perdas de solo reduziam com o desenvolvimento da floresta de eucalipto, se aproximando dos valores observados em mata nativa, o que indica uma tendência da floresta plantada atingir sustentabilidade em termos de erosão hídrica.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de perdas de solo por erosão hídrica são de grande utilidade tanto no planejamento de práticas silvícolas a ser adotadas na área quanto para avaliação de impactos ambientais causados pelo manejo do solo.

No Brasil ainda existem regiões onde são escassos os estudos sobre erosividade das chuvas e perdas de solo, estes dados são abundantes no sul e sudeste do país e insuficientes nas demais regiões.

Os modelos de predição de perdas de solo são importantes ferramentas nos estudos de erosão hídrica, sobretudo quando aliado a um Sistema de Informações Geográficas, favorecendo a avaliação espacial das perdas de solo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2013**: Ano base 2012. Brasília, DF, 2013. 148p.

AQUINO, R.F.; AVANZI, J.C.; SILVA M.L.N.; SÁFADI, T.; CURI, N. Uso de modelos de séries temporais para predição da erosividade mensal, para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, MG, v. 16, p. 205, ago. 2008.

AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; BESKOW, S.; MARTINS, S.G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with Eucalyptus and Atlantic Forest. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 37, p. 427, out. 2013.

BAPTISTA, J.; LEVIEN, R. Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e no acúmulo de biomassa da parte aérea de Eucalyptus Saligna em um cambissolo háplico da depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, p. 567, ago. 2010.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.E.; AMARAL, A.J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 133, fev. 2007.

BRITO, L.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; FERREIRA, M.M.; PIRES, L.S. Erosão hídrica de Latossolo Vermelho muito argiloso em relevo ondulado em área de pós-plantio de eucalipto no Vale do Rio Doce, região Centro Leste de Minas Gerais. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, v. 67, p. 27,abr. 2005.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; OLIVEIRA, O.F.; MELO, R.O. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividades e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 22, p.68, jun. 2009.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N; CARVALHO, G.J.; FREITAS, D.A.F.; AVANZI, J.C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 16, n.6, p. 632, Jun. 2012.

CARVALHO, K.H.A. de; SILVA, M.L.; SOARES, N.S. Efeito da área e da produtividade na produção de celulose no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1119, dez. 2012.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de Eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1381, dez. 2007.

CHAVES, H.M.L. Incertezas na predição da erosão com a usle: impactos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 2021, dez. 2010.

EDUARDO, E.N.; CARVALHO, D.F.; MACHADO, R.L.; SOARES, P.F.C.; ALMEIDA, W.S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 796, jun. 2013.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Ibá 2014**. Disponível em: http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf. Acesso em 15 jan. 2015.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996. 301p.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, v. 38, n. 87, p. 517, set. 2010.

MARTINS, S.G.; AVANZI, J.C., SILVA, M.L.N, CURI, N.; FONSECA,S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 41, p. 322, set. 2011.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas

florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 395, jun. 2003.

MOTTA, D.; SILVA, W. F.; DINIZ, E. N. Rentabilidade na plantação do eucalipto. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 7., 2010, Rezende. **Anais...** Rezende: Associação Educacional Dom Bosco, 2010.

NEVES, S.M.A.S. Aplicação de imagens do radar interferométricos (SRTM) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela/MT. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, RR, v. 2, p. 124, ago. 2008.

OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; NETO, G.K.; ARAÚJO, E.F. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 37, p. 159, abr. 2013.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, Amsterdam, v. 100, p. 139, jan. 2012.

PASTOR, I. M.; CÓRDOBA, P. S.; NAVARRO, J. P.; GÓMEZ, I. Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación por erosión en suelos mediante un modelo de lógica borrosa. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 33, p. 171, jan. 2010.

PIRES, L.S.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; BRITO, L.F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 687, abr. 2006.

PORTELA, J.C.; COGO, N.P.; AMARAL, A.J.; GILLES, L.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J.P.; PORTZ, G. Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 225, fev. 2011.

PROCHNOW, D.; DECHEN, S.C.F.; De MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 91, fev. 2005.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista Okara: Geografia em Debate**, João Pessoa, PB, v. 1, p. 16, jun. 2007.

SILVA, M.A.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SANTOS, G.R.; MARQUES, J.J.G.S.M.; MENEZES, M.D.; LEITE, F.P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1029, ago. 2010.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 4, p. 765, dez. 2011.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

XAVIER, A.; SILVA, R.L. Evolução da silvicultura clonal de Eucalyptus no Brasil. **Agronomía Costarricense**, San José-Costa Rica, v. 34, p. 93, jan. 2010.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1: Erosividade da chuva e análise de recorrência para a região de Teixeira de Freitas, BA

Normas da Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental

Resumo: A chuva é o fator ativo na erosão hídrica e o conhecimento do seu potencial erosivo é de grande importância para o planejamento de tecnologias conservacionistas, entretanto ainda há carência desta informação para o Nordeste Brasileiro. Deste modo, o objetivo do presente estudo foi determinar e modelar a erosividade, bem como obter a estimativa da mesma associando-a a tempos de recorrência específicos na região de Teixeira de Freitas, Extremo Sul do estado da Bahia. A erosividade da chuva foi determinada por meio do EI_{30} , considerando a energia cinética da chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos. Foram aplicadas distribuições de probabilidade, usando a melhor ajustada para determinação da erosividade no período de retorno a ela associado. A erosividade média anual para a região foi $3.722,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a distribuição de melhor ajuste foi a Log-Normal 2P.

Palavras-chave: EI_{30} , erosão hídrica, tempo de retorno

Rainfall erosivity and recurrence analysis for the region of Teixeira de Freitas, BA

Abstract: Rain is an active factor in erosion and the knowledge of its erosive potential is of great importance for planning soil conservation

technologies, however there is still a lack of information regarding rainfall erosivity in the Brazilian Northeast. Thus, the objective of this study was to determine and model the rainfall erosivity and associate it to recurrence intervals in the region of Teixeira de Freitas, in the extreme south of the state of Bahia. The rainfall erosivity was determined by the EI_{30} , considering the kinetic energy of rainfall and its maximum intensity in 30 minutes. Probability distributions were applied and the best fit was used for determining the erosivity return period. The average annual erosivity for the region was $3.722,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and the best fitting distribution was the Log-Normal 2P.

Key words: EI_{30} , water erosion, return time

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é desencadeada pelo impacto da gota de água na superfície do solo, o que promove o deslocamento das partículas e posterior desagregação do solo, seguida do transporte das partículas até a perda de energia cinética da massa de água, finalizando com a deposição.

Os danos promovidos pelos processos erosivos nas áreas cultivadas são diversos, gerando prejuízo financeiro tanto pela redução da área útil, devido a ocorrência de sulcos, deslocamento de massa e voçorocas, quanto pelo prejuízo na construção da fertilidade causada pela perda de nutrientes e carbono orgânico, além do potencial dano ambiental em decorrência da água e sedimentos, ricos em nutrientes oriundos da adubação, transportados pela enxurrada, gerando impacto na área de deposição sedimentar (Bertol et al., 2007).

A equação universal de perdas de solo (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978), é o modelo mais usado mundialmente para predição de erosão hídrica, sendo composta por seis fatores: Erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento de rampa (L), declividade (S), cobertura vegetal (C) e tecnologias conservacionistas (P).

A chuva é o fator ativo na erosão hídrica e seu potencial em causar erosão em uma área sem proteção vegetal é definido como erosividade (Bertoni & Lombardi Neto, 2012). Deste modo o fator R da equação é de grande importância nos estudos de perdas de solo e costuma ser expresso por índices baseados no comportamento pluviométrico da área, com destaque para o EI_{30} .

Estudos desenvolvidos por Silva et al. (2010) afirmam que o EI_{30} é o mais apropriado para regiões tropicais, com características edafoclimáticas como as do Brasil, e por isso é o mais usado em estudos sobre erosividade das chuvas no país.

Pesquisa realizada por Mello et al. (2013) onde a erosividade anual foi estimada para as diversas regiões brasileiras por meio de modelos multivariados, indica valores máximos de erosividade próximos a $23000 \text{ MJ mm (ha h)}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e mínimos cerca de $2200 \text{ MJ mm (ha h)}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo os valores máximos, considerados muito altos, observados na região Norte do país devido a alta pluviosidade característica da Floresta Amazônica.

Oliveira et al. (2012) desenvolveram estudo semelhante no Brasil, onde foi realizado um levantamento de equações para estimativa da erosividade, contabilizando 73 equações de regressão nas diversas regiões brasileiras. Entretanto tais equações não podem ser extrapoladas de forma

generalizada, tendo o risco de subestimar ou superestimar os valores de erosividade, deste modo tornam-se necessários estudos sobre o clima local para determinar qual equação é mais adequada para a região de interesse.

Os autores afirmam ainda que existem poucos estudos sobre erosividade no Brasil e que a maioria destes estão concentrados no sul e sudeste, havendo carência destas informações nas demais regiões brasileiras, como no Nordeste do país.

A erosividade da chuva deve ser determinada, preferencialmente, a partir de registros pluviográficos com períodos de chuva de 20 a 30 anos (Cassol et al., 2008), entretanto esta recomendação para obtenção de um fator R confiável é moroso, pois no Brasil estas informações são de difícil obtenção. Deste modo, é comum em pesquisas nacionais o uso de bancos de dados contemplando um período inferior ao recomendado (Machado et al., 2008; Oliveira et al., 2009; Silva et al., 2010)

De acordo com Eltz et al. (2013), o efeito danoso da chuva pode se estender além da erosão hídrica, oferecendo também riscos para infraestrutura urbana e rural, deste modo o dimensionamento de obras hidráulicas e conservacionistas demandam do conhecimento e determinação do período de retorno das chuvas e de sua erosividade.

O tempo de recorrência pode ser determinado através de distribuições de probabilidades, onde estas têm por finalidade modelar a frequência de ocorrência (Aquino et al, 2014).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo determinar e modelar a erosividade, além de estimar a mesma associando-a a tempos

de recorrência específicos na região de Teixeira de Freitas, Extremo Sul do estado da Bahia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Extremo Sul do estado da Bahia, no município de Teixeira de Freitas (Figura 1). A região apresenta o tipo climático Af, conforme Köppen (Peel et al., 2007), caracterizado por clima tropical quente e úmido, com temperatura média no mês mais frio superior a 18 °C e precipitação média no mês mais seco superior a 60 mm.

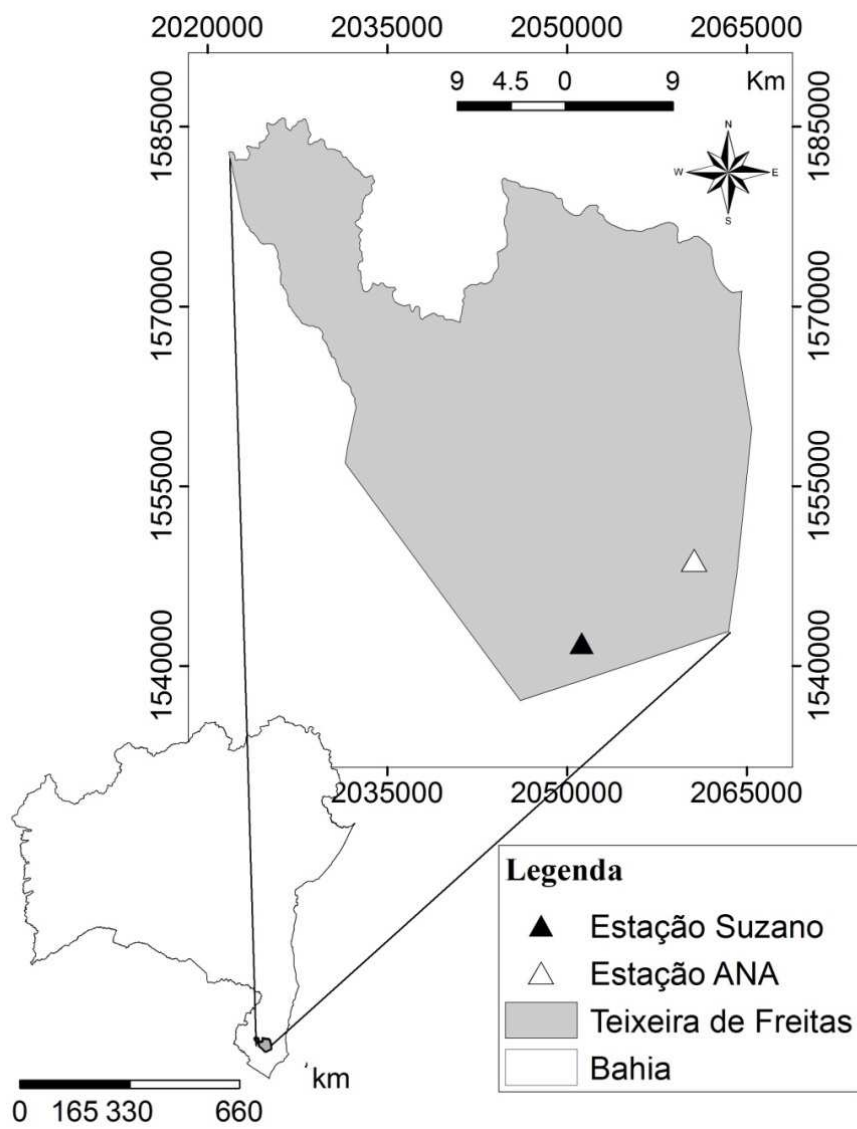


Figura 1. Localização do Município Teixeira de Freitas, no Extremo Sul do estado da Bahia

Para o cálculo da erosividade foram utilizados dados pluviométricos obtidos em estação climatológica automatizada, instaladas na região e gerenciadas pela empresa Suzano Papel e Celulose. A coleta dos dados foi realizada com intervalos de registro de 10 minutos, durante o período de 3 de março de 2010 a 3 de março de 2014.

Considerou-se chuvas individuais diárias aquelas separadas umas das outras por um período superior a seis horas (Cabeda, 1976) e, seguindo metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1978), classificadas como erosivas aquelas com lâmina precipitada superior a 10 mm ou com energia cinética maior que $3,6 \text{ MJ ha}^{-1}$.

A determinação da energia cinética da chuva foi realizada por meio da equação proposta por Wischmeier & Smith (1978) e adaptada por Foster et al. (1981), conforme mostra Eq.1:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \text{Log} I \quad (1)$$

onde:

E_c - Energia cinética ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

I - Intensidade da chuva (mm h^{-1})

Para obter a EC em MJ ha^{-1} multiplicou-se o resultado obtido com a Eq.1 pela precipitação do evento em milímetros. O índice EI_{30} foi obtido a partir da Eq.2:

$$EI_{30} = E_c * I_{30} \quad (2)$$

onde:

EI_{30} - índice de erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$)

E_c - Energia cinética ($MJ\ ha^{-1}$);

I_{30} - Máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos ($mm\ h^{-1}$)

Foi ajustado um modelo para predição da erosividade em função da precipitação, ambos na escala mensal, via regressão por meio de planilha eletrônica do Excel®.

Devido ao curto período de monitoramento da estação Suzano, foi realizada uma análise comparativa do regime pluvial registrado nesta estação em relação a uma estação da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no mesmo município e com série histórica composta por 20 anos de dados contínuos (1994 a 2014) registrados. Foram avaliados os seguintes parâmetros: altitude da estação, distância entre ambas, média e desvio padrão de cada série, além da obtenção do coeficiente de determinação (R^2 – Eq.3), coeficiente de correlação de Pearson (Eq.4) e coeficiente de Willmott (d – Eq.5)

$$R^2 = \frac{\sum (O_i - E_i)^2}{\sum (E_i - E_m)^2} \quad (3)$$

$$r = \frac{C_{x,y}}{S_x S_y} \quad (4)$$

$$d = 1 - \frac{\sum (O_i - E_i)^2}{\sum (|E_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \quad (5)$$

Em que:

O_i e O_m - i valor na série da estação Suzano e a média dos dados nesta estação, respectivamente

E_i e E_m - i valor na série da estação ANA e a média dos dados nesta estação, respectivamente

C_{xy} - Covariância das variáveis X e Y

S_x e S_y - Desvio padrão da variável X e Y, respectivamente

Foram calculadas as erosividades mensais a partir dos dados da estação da ANA aplicando a equação ajustada com os dados da estação Suzano e acumuladas, em cada ano, para obtenção da série de erosividade anual. Os dados da série foram ordenados de forma decrescente, obtendo-se a frequência de excedência dos dados calculados. Foram ajustadas as distribuições de probabilidade Normal com 2 parâmetros (Eq.6), Log-Normal com 2 parâmetros (Eq.7) e Gumbel para máximos (Eq.8).

$$P(x > x_i) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (6)$$

$$P(x > x_i) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left[\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (7)$$

$$P(x > x_i) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (8)$$

onde:

σ , μ e α são parâmetros da distribuição.

A fim de testar a aderência das distribuições ajustadas aos dados calculados, foi aplicado o teste do Qui-Quadrado (χ^2) (Eq.9), considerando um nível de significância de 5% de probabilidade.

$$\chi^2_{\text{calculado}} = \sum_{i=1}^n \frac{(F_{obs_i} - F_{teorico_i})^2}{F_{teorico_i}} \quad (9)$$

Em que, n corresponde ao número de classes, F_{obs_i} e $F_{teorico_i}$ correspondem às frequências observadas e teóricas na classe i, respectivamente.

Após a escolha da distribuição mais adequada foram calculadas as erosividades anuais correspondentes aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos conforme a Eq.10.

$$TR = \frac{1}{P(x > x_i)} \quad (10)$$

Em que, TR corresponde ao tempo de retorno em anos e $P(x > x_i)$ corresponde a probabilidade de o evento desejado ser excedido pelo menos uma vez no tempo de retorno analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A série de quatro anos da estação Suzano apresenta comportamento heterogêneo na distribuição da erosividade e precipitação entre os anos, devido à sazonalidade da precipitação na região. Para o primeiro ano avaliado a maior porcentagem de eventos erosivos ocorreu no mês de novembro (Figura 2), o que não equivale ao mês com maior erosividade, sendo esta observada em março (Figura 3).

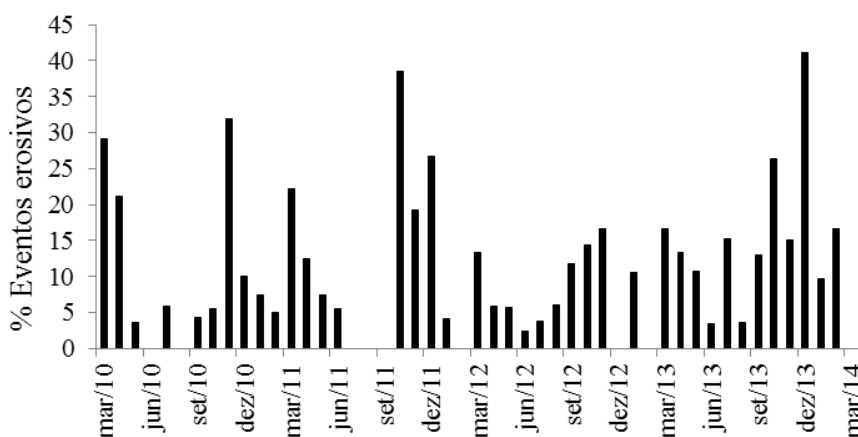


Figura 2. Porcentagem de eventos erosivos para o Município de Teixeira de Freitas (BA), no período de março de 2010 a março de 2014

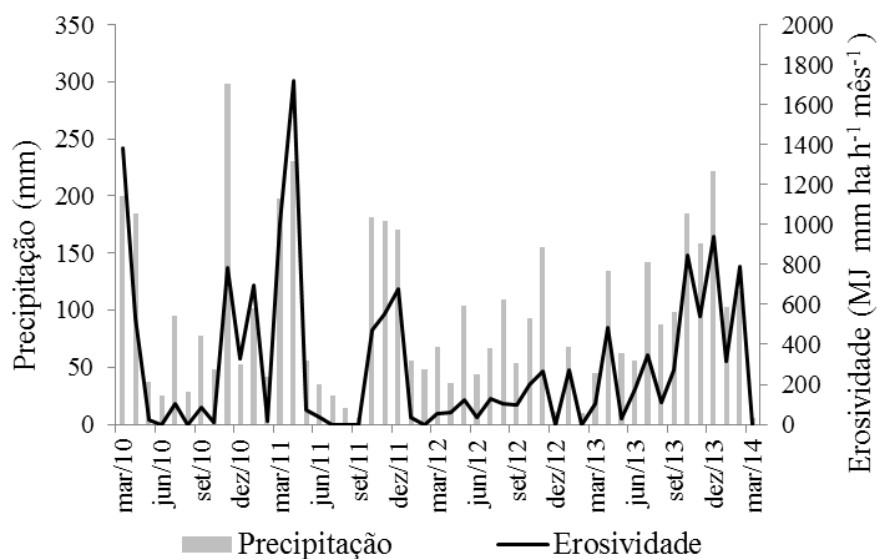


Figura 3. Erosividade da chuva e precipitação mensal para o Município de Teixeira de Freitas (BA), no período de março de 2010 a março de 2014

Em 2011 os eventos erosivos tiveram maior ocorrência relativa em outubro, entretanto a maior erosividade mensal foi observada em Abril, a maior para toda a série avaliada: $1.721,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$. O ano de 2012 apresentou erosividades baixas em relação à série, enquanto 2013 teve no mês de dezembro a maior erosividade e porcentagem de eventos erosivos no ano.

Avaliando o potencial erosivo das chuvas na região do médio São Francisco, porção Norte da Bahia, Lopes & Brito (1993) observaram

erosividade média de 3.722,0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Para o Sul do estado Baiano, Oliveira et al. (2012), em estudo envolvendo a erosividade da chuva no Brasil, apontam ausência destas informações na região. Por meio de interpolação, os autores encontraram valores variando entre 8.000 e 10.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para a região onde se encontra o Município de Teixeira de Freitas, BA.

O valor médio de erosividade avaliado durante o período de março de 2010 a março de 2014 para a mesma região foi equivalente a 3.701,45 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, classificada como média (Foster et al., 1981), sendo inferior ao estimado por Oliveira et al. (2012), ressaltando assim a importância do presente estudo para compor a base de dados da erosividade determinada no Brasil.

De modo geral, observa-se que o período com maior ocorrência de eventos erosivos corresponde ao intervalo entre outubro e março. A manutenção da cobertura vegetal neste período é de grande importância para a proteção do solo contra o impacto erosivo da gota de chuva, evitando assim as perdas de solo. Esta informação facilita o planejamento de práticas como preparo do solo e colheita, período em que o solo é exposto a agentes erosivos.

Não é correto afirmar que quanto maior o volume precipitado, maior a erosividade. O presente estudo mostra que os meses mais chuvosos não apresentam necessariamente maior erosividade, o que pode ocorrer devido a menor intensidade da chuva. Aquino et al. (2013) observam comportamento semelhante entre o volume precipitado no ano e a erosividade no Município de Lavras (MG), o que é explicado pelos

autores devido as características climáticas, além dos efeitos gerados pela circulação atmosférica.

A equação de regressão ajustada para a estimativa do EI_{30} é expressa conforme Eq.11:

$$EI_{30} = 0,0321P^{1,9076} \quad (11)$$

Onde P equivale à precipitação mensal.

A correlação entre a precipitação e o EI_{30} apresentou coeficiente de determinação de 0,7345 (73,45%), valor considerado adequado. Moriasi et al. (2007) consideram valores de R^2 superiores a 0,50 como aceitáveis.

A estação da Suzano encontra-se a 106 m de altitude em relação ao nível do mar e distante da estação da ANA 11 km e 100 m de altitude. A baixa diferença de nível entre as estações e o relevo suave, característico da região, minimiza a ocorrência do efeito orográfico nas séries de dados. Na análise de relação entre as estações (Tabela 1) observam-se valores médios semelhantes entre o total de dados da estação da Suzano e o total de dados da ANA, esta última apresentando um desvio padrão maior, o que ocorre devido à base de dados mais ampla.

Tabela 1. Análise estatística da relação entre as estações Suzano e ANA, para a região de Teixeira de Freitas (BA)

Parâmetros	Suzano	ANA
μ	95,5	100,7
σ	70,4	90,8
r	0,8415	
d	0,9031	
R^2	0,7034	

Legenda: μ = média aritmética do total de dados de cada estação; σ = desvio padrão do total de dados de cada estação. r = coeficiente de Pearson; d = coeficiente de Willmott; R^2 = coeficiente de determinação

O coeficiente de Pearson de 0,8415 encontra-se no intervalo entre 1 e 0,8, indicando correlação forte positiva (Camargo & Sentelhas, 1997). Confirmando a boa correlação entre os dados das estações o coeficiente de Willmott, que varia de zero a um, apresentou valor superior a 0,9, além do R^2 cujo valor está acima do considerado aceitável.

Sabendo da representatividade da estação da ANA em relação a da Suzano e em posse do modelo do índice de erosividade para a região, foi possível estimar o fator R para os dados pluviométricos disponibilizados pela ANA, aplicando as distribuições Gumbel, Log-normal 2P e normal 2P para as erosividades anuais (Figura 4).

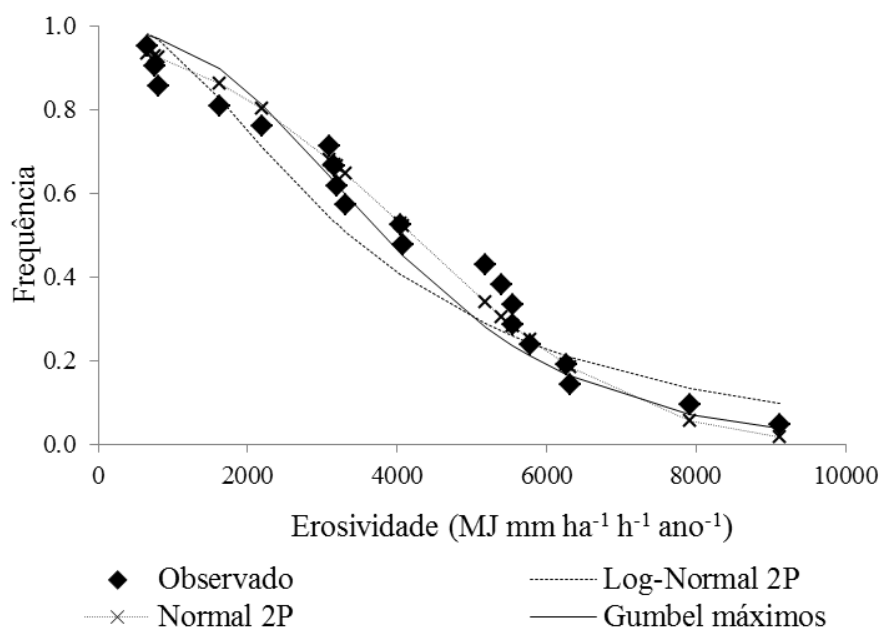


Figura 4. Frequências observadas e estimadas para as erosividades anuais no Município de Teixeira de Freitas (BA)

Todas as distribuições mostraram-se adequadas de acordo com o teste do Qui-quadrado (Tabela 2), em que a distribuição de melhor ajuste foi a Log-Normal 2P, com menor valor de χ^2 .

Tabela 2. Teste de aderência das distribuições Log-Normal 2P, Normal 2P e Gumbel para máximos aplicadas para valores anuais de erosividade na região de Teixeira de Freitas (BA)

	Log-Normal 2P	Normal 2P	Gumbel
χ^2_{calc}	0.1762*	0.7053*	0.3492*
χ^2_{tab}	7.81	7.81	7.81

*Não significativo a nível de 5% de probabilidade.

Em função da distribuição de melhor ajuste, Log-Normal 2P, foram estimadas as erosividades associadas a cada tempo de retorno pré-determinado (Tabela 3).

Tabela 3. Tempo de retorno (TR) e erosividade associada, para o Município de Teixeira de Freitas (BA)

TR	Probabilidade	Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Classes de erosividade*
2	0.50	3.369,6	Moderada
5	0.20	6.454,7	Moderada
10	0.10	9.072,8	Alta
50	0.02	16.463,1	Alta
100	0.01	20.446,1	Alta

*Foster et al., 1981.

Observa-se que a erosividade anual mínima para o menor tempo de retorno equivale a $3.369,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, ou seja, esse valor deve ser igualado ou superado, pelo menos uma vez, a cada 2 anos. Na série de dados avaliada, 60% dos dados superam esse valor, enquanto apenas 20% superam a erosividade de $6.454,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com 5 anos de tempo de retorno. Apenas no ano de 2004 foi observada uma erosividade anual superior a $9.072,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, assim, os dois últimos valores de erosividade apresentados na Tabela 3, para 50 e 100 anos, não foram verificados na série de dados.

Os estudos de erosividade, tempo de retorno e probabilidade de ocorrência específica para as várias regiões do Brasil são de grande importância, pois contribuem para o ganho de informações no banco de dados para locação das linhas iso-erosivas do Brasil (Almeida et al., 2011). Adicionalmente, estas informações são indispensáveis para o uso e planejamento correto do solo, uma vez que conhecer as relações entre os fatores provedores da erosão hídrica e os que favorecem a redução das perdas de solo é fundamental para o planejamento conservacionista (Evangelista et al., 2006).

CONCLUSÕES

1. A erosividade média da região de Teixeira de Freitas, para o período de quatro anos avaliados, equivale a $3.701,45 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.
2. A distribuição de melhor ajuste para a série de dados de 20 anos foi a Log-Normal 2P.

3. Valores de erosividade de 3.369,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, 6.454,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, 9.072,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, 16.463,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 20.446,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ tiveram tempo de retorno associado de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, FAPEMIG e ao CNPq pela concessão das bolsas aos autores e co-autores deste trabalho, ao CNPq pelo financiamento do projeto vigente nº 471522/2012 e à Suzano Papel e Celulose na pessoa de Ricardo P. Martins, pelo suporte logístico, coleta de dados e auxílio nos trabalhos de campo.

LITERATURA CITADA

- Almeida, C. O. S.; Amorin, R. S. S.; Couto, E. G.; Eltz, F. L. F.; Borges, L. E. C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.178–184, 2011.
- Aquino, R. F.; Silva, M. L. N.; Freitas D. A. F.; Curi, N.; Avanzi, J. C. Soil losses from Typic Cambisols and Red Latosol within three different erosive rainfall patterns. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.213-220, 2013.
- Aquino, R. F.; Silva, M. L. N.; Freitas, D. A. F.; Curi, N.; Mello, C. R.; Avanzi, J. C. Erosividade das chuvas e tempo de recorrência para Lavras, Minas Gerais. *Revista Ceres*, v.61, p.09-16, 2014.
- Bertol, I.; Cogo, N. P.; Schick, J.; Gudagnin, J. C. E.; Amaral, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão

- hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.133-142, 2007.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. 8.ed. Piracicaba: Ceres, 2012. 368p.
- Cabeda, M. S. V. *Computation of storm EI values*. West Lafayette: Purdue University, 1976. 6p.
- Camargo, A. P.; Sentelhas, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, p.89-97, 1997.
- Cassol, E. A.; Eltz, F. L. F.; Martins, D.; Lemos, A. M.; Lima, V. S.; Bueno, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1239-1251, 2008
- Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A.; Pascotini, P. B.; Amorim, R. S. S. Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.647-654, 2013.
- Evangelista, A. W. P.; Carvalho, L. G.; Dantas, A. A. A.; Bernardino, D. T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. *Revista Irriga*, v.11, p.1-11, 2006.
- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G.; Moldenhauer, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. *Journal of Soil Water Conservation*, v.36, p.355- 359, 1981.

- Lopes, P. C. R.; Brito, L. T. L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, p.129-133, 1993.
- Machado, R. L.; Carvalho, D. F.; Costa, J. R.; Oliveira Neto, D. H.; Pinto, M. F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2113-2123, 2008.
- Mello, C.R.; Viola, M.R.; Beskow, S.; Norton, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma*, v.202-203, p.88-102, 2013.
- Moriasi, D. N.; Arnold, J. G.; Liew, M. W. Van; Binger, R. L.; Harmel, R. D.; Veith, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v.50, p.885-900, 2007.
- Oliveira, F. P.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Silva, M. A.; Mello, C. R. Potencial erosivo da chuva no vale do Rio Doce, região centro leste do Estado de Minas Gerais (primeira aproximação). *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.6, p.1569-1577, 2009.
- Oliveira, P. T. S., Wendland, E.; Nearing, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, v.100, p.139-147, 2012.
- Peel, M. C.; Finlaysson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.11, p.1633-1644, 2007.
- Silva, M. A., Silva, M. L. N., Curi, N., Santos, G. R., Marques, J. J. G. S. M., Menezes, M.D.; Leite, F.P. Avaliação e espacialização da

erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1029-1039, 2010.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA. 1978.58p. Agricultural Handbook, 537.

ARTIGO 2: Perdas de solo e água em Argissolo Amarelo e Espodossolo associadas a padrões de chuva

Normas da Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental (Versão Preliminar)

Resumo: As perdas de solo e água por erosão hídrica representam risco de dano ambiental e perda de produtividade dos solos. A cobertura vegetal é um importante aliado no combate à erosão hídrica, assim como o conhecimento das características da chuva. Deste modo o presente estudo teve como objetivo avaliar as perdas de solo e água e determinar os padrões de chuva em floresta homogênea de Eucalipto sobre um Argissolo Amarelo, no município de Teixeira de Freitas e um Espodossolo, no município de Caravelas, Extremo Sul da Bahia. Parcelas de perdas de solo foram instaladas em três tratamentos: Solo descoberto, Eucalipto e Mata nativa, em ambas as classes de solo avaliadas. Para a erosividade e os padrões de chuva foram considerados dados pluviométricos obtidos em estação climatológica automatizada, com intervalos de registro de 10 minutos. As maiores perdas de solo foram observadas no Argissolo Amarelo, e o padrão de chuva predominante para as regiões, durante o período avaliado, foi o Avançado.

Palavras-Chave: Erosão hídrica, erosividade da chuva, Eucalipto.

Soil and water losses in Ultisol and Spodosol associated with rainfall patterns

Abstract: Soil and water losses by erosion pose a risk of environmental damage and soil productivity loss. The vegetation is an important ally in the fight against water erosion, as well as knowledge of rainfall characteristic. Therefore, the present study aimed to assess the soil and water losses and determine rainfall patterns in homogeneous forest of Eucalyptus over a Ultisol in the city of Teixeira de Freitas, and Spodosol in the municipality of Caravelas, in the extreme south Bahia. Soil loss were installed in three treatments: Solo discovered, eucalyptus and native forest, in both evaluated soil classes. For erosivity and rainfall patterns were considered rainfall data from automated meteorological station with 10 minutes recording intervals. The highest soil losses were observed in the Ultisol, while the predominant rain pattern in both regions during the study period, was the Advanced.

Key words: Water erosion, rainfall erosivity, Eucalyptus.

INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola das terras brasileiras se deve tanto à favorável característica climática da maioria das regiões quanto às boas condições do solo, contribuindo para o fortalecimento e estabelecimento de culturas economicamente lucrativas, como a silvicultura.

Os processos erosivos desencadeados pela interferência antrópica estão entre os principais impactos negativos que as atividades silvícolas podem causar. As perdas de solo representam riscos de degradação ambiental,

além do potencial prejuízo à rentabilidade da cultura (Cardoso et al., 2012).

De acordo com Pinheiro et al. (2013), os plantios florestais apresentam tendência de estabelecimento em antigas áreas agrícolas, com ecossistemas já em desequilíbrio devido às perturbações antrópicas e com baixa fertilidade natural dos solos.

As operações de manejo, colheita e construção e manutenção de estradas florestais, quando não adequadas, podem favorecer as perdas de solo por erosão hídrica, resultando em perda da capacidade produtiva dos solos.

Estudo realizado por Silva et al. (2011) mostra que em povoamentos de eucalipto, onde práticas conservacionistas são adotadas, as perdas de solo são muito inferiores a sistemas não conservacionistas. Os autores observaram em um Latossolo Vermelho-Amarelo que, comparado à cultura de eucalipto no sentido do declive e com queima dos restos culturais, houve redução de 80% de perdas de solo apenas por manter os restos culturais na área, sem queimá-los, e redução de 88% das perdas de solo em sistema onde o plantio de eucalipto foi em nível com o terreno.

O processo erosivo acelerado pode resultar em remoção de uma profunda camada do solo, o que implica em empobrecimento do mesmo, uma vez que as camadas superficiais são as mais ricas em nutrientes e também as que primeiro sofrem erosão (Oliveira et al., 2014).

Dos fatores promotores da erosão hídrica, a chuva ganha destaque devido seu poder desagregante sobre as partículas do solo. Segundo Aquino et al. (2013), a erosividade da chuva é um dos fatores mais difíceis de prever e controlar, sendo por definição o potencial da

precipitação em causar erosão, através do desprendimento e transporte de partículas do solo, dependendo de características físicas básicas, como o tamanho, a forma e a velocidade das gotas de chuva ao atingirem o solo.

O momento em que ocorre o pico de maior intensidade do evento chuvoso pode ocasionar maior ou menor erosão ao solo, tornando-se importante a caracterização dos padrões de chuva de uma região. Tais padrões hidrológicos são classificados em avançado, quando o pico de maior intensidade da chuva ocorre nos primeiros 30% da duração total do evento; intermediário, quando o pico ocorre entre 30 e 60% da duração e atrasado, onde o pico de maior intensidade se dá acima dos 60% da duração total (Eltz et al., 2013).

Diante o exposto, o presente estudo teve como objetivo quantificar as perdas de solo e água e determinar os padrões de chuva em floresta homogênea de Eucalipto sobre um Argissolo Amarelo, no município de Teixeira de Freitas, e um Espodossolo, no município de Caravelas, no Extremo Sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Extremo Sul da Bahia, no município de Teixeira de Freitas e Caravelas (Figura 1). A região apresenta o tipo climático Af, conforme Köppen (Peel et al., 2007), caracterizado por clima tropical quente e úmido, com temperaturas médias mensais superiores a 22°C.

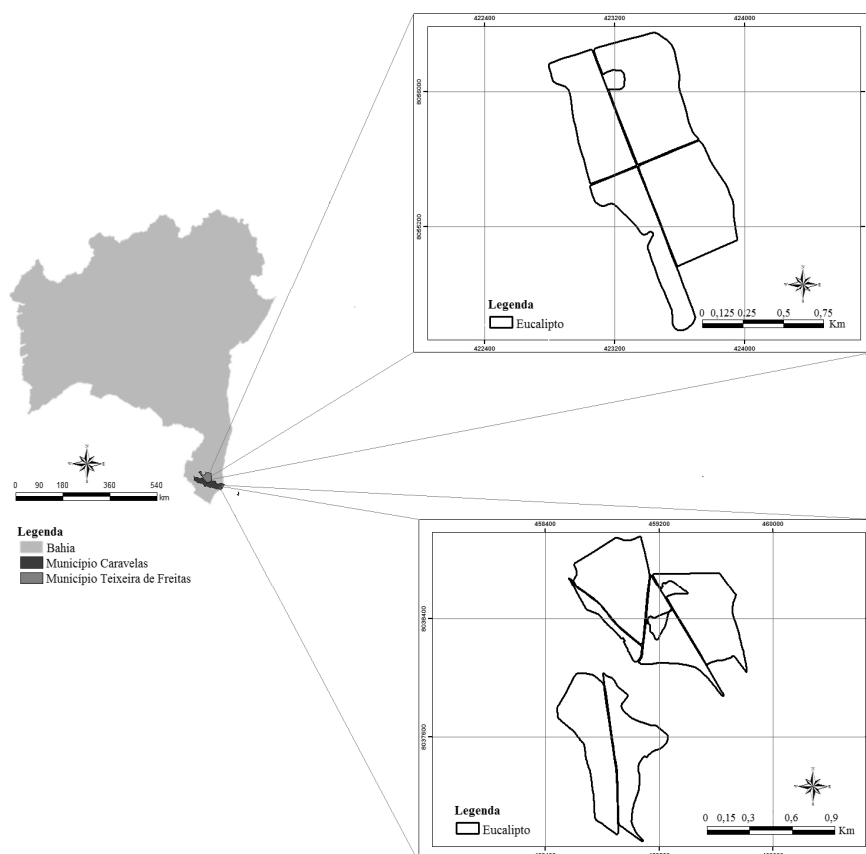


Figura 1. Localização dos plantios homogêneos de Eucalipto, no Extremo Sul da Bahia, Municípios Caravelas e Teixeira de Freitas

Os solos da região foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), sendo um Argissolo Amarelo distrófico abrupto, no município de Teixeira de Freitas, e Espodossolo Acinzentado distrófico abrupto, em Caravelas. As frações granulométricas de cada classe de solo avaliada podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Frações granulométricas e matéria orgânica do solo (MOS) de um Argissolo Amarelo localizado no Município de Teixeira de Freitas e um Espodossolo no Município de Caravelas, Extremo Sul da Bahia

Prof. (cm)	Arg.	Sil.	AMG	AG	AM	AF	AMF	MOS
	-----g kg ⁻¹ -----							%
	Mata Nativa							
	Argissolo Amarelo distrófico abrupto							
0a10	170	60	150	210	220	160	30	3.29
10a20	200	50	130	180	200	190	40	1.60
20a40	240	40	130	170	200	180	40	1.22
	Espodossolo Acinzentado distrófico abrupto							
0a10	230	40	70	230	230	170	170	2.43
10a20	230	40	70	200	210	190	190	2.08
20a40	250	50	60	170	200	210	210	1.11

Legenda: Arg.= argila; Sil.= silte; AMG= areia muito grossa; AG= areia grossa; AM= areia média; AF= Areia fina; AMF= areia muito fina, MOS= matéria orgânica do solo

Antes da inserção do eucalipto na área, a mesma era ocupada com pastagem. Desde a implantação até o período do presente estudo já foram estabelecidos quatro ciclos da cultura, com prática de cultivo mínimo e preparo do solo na linha de plantio a 60 cm de profundidade. Nas colheitas, em todos os ciclos, foram utilizados Harvester e Forwarder, deste modo a madeira foi descascada no campo. O clone cultivado equivale a um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Para a determinação das perdas de solo e água, em ambas localidades, foram considerados três tratamentos: Plantio homogêneo de Eucalipto,

Solo descoberto e Mata nativa (situação de equilíbrio), esta última refere-se a fragmento de floresta tropical subperenifólia.

Em cada tratamento foram instaladas parcelas-padrão de monitoramento da erosão hídrica, com 4 X 24 m e 4 e 9% de declive no Espodossolo e Argissolo Amarelo, respectivamente. Somente na área com cultivo de eucalipto foram instaladas parcelas de perdas de solo geminadas, conforme mostra a Figura 2. As parcelas descobertas foram instaladas em uma área de carreador, e o controle da vegetação realizado por meio de aplicação herbicida costal e/ou roçada.

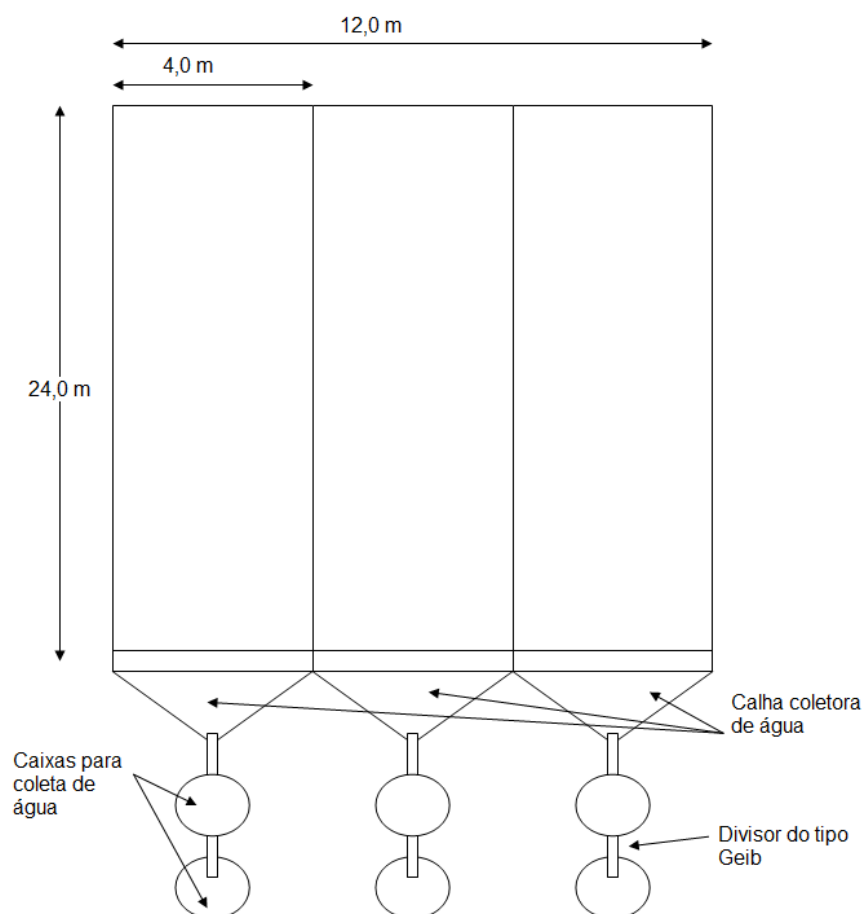


Figura 2. Esquema das parcelas de perdas de solo instaladas na área com cultivo de eucalipto, no Município de Caravelas e Teixeira de Freitas, no Extremo Sul da Bahia

A calha instalada na extremidade de cada parcela conduz a água da enxurrada até a caixa coletora com capacidade de 250 L, com um divisor tipo Geib de 15 janelas que transfere o excesso para uma segunda caixa coletora com capacidade de 500 L.

As leituras de altura da lâmina e coleta de sedimentos nas caixas foram realizadas após cada evento chuvoso. O material coletado seguiu para laboratório, onde o sedimento foi decantado, seco em estufa e pesado em balança com precisão de 0,01 g. Os dados obtidos em laboratório foram usados para calcular as quantidades de solo e água perdidas por erosão hídrica em cada tratamento, seguindo o procedimento descrito por Cogo (1978). O período do estudo corresponde a Outubro de 2012 a Março de 2014, para o Município de Teixeira de Freitas, e Agosto de 2012 a Março de 2014 para Caravelas.

No cálculo da erosividade foram utilizados dados pluviométricos obtidos em estação climatológica automatizada, pertencente à empresa Suzano Papel e Celulose, instalada nas duas regiões, com intervalos de registro de 10 minutos.

Considerou-se chuvas individuais diárias aquelas separadas umas das outras por um período superior a seis horas (Cabeda, 1976) e, seguindo metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1978), classificadas como erosivas aquelas com lâmina precipitada superior a 10 mm ou com energia cinética maior que $3,6 \text{ MJ ha}^{-1}$.

A determinação da energia cinética da chuva foi realizada por meio da equação proposta por Wischmeier & Smith (1978), conforme mostra Eq.1:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \text{Log} I \quad (1)$$

onde:

E_c = Energia cinética ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

I = Intensidade da chuva (mm h^{-1}).

Para obter a EC em MJ ha⁻¹ multiplicou-se o resultado obtido com a Eq.1 pela precipitação do evento em milímetros. O índice EI₃₀ foi obtido a partir da Eq.2:

$$EI_{30} = Ec * I_{30} \quad (2)$$

Onde:

EI₃₀= Índice de erosividade (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)

Ec= Energia cinética (MJ ha⁻¹);

I₃₀= Máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (mm h⁻¹).

Após separar os eventos erosivos, definiram-se os padrões de chuva, segundo metodologia proposta por Horner & Jens, 1942, onde o padrão avançado corresponde ao evento erosivo no qual o pico de maior intensidade ocorre no primeiro terço de duração do evento, ou seja, até os 30% do período total de duração. O intermediário apresenta maior pico no segundo terço (entre 30 e 60%) e o atrasado no terceiro terço (após 60%) de duração da chuva.

Considerou-se ainda para o presente estudo o incremento médio anual (IMA) dos povoamentos, o qual foi disponibilizado pela empresa Suzano Papel e Celulose, conforme mostra a Tabela 2:

Tabela 2. Incremento médio anual com casca e sem casca para dois povoamentos de eucalipto no Extremo Sul da Bahia, em Argissolo Amarelo e Espodossolo

	IMA (com casca)	IMA (sem casca)
	-----m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----	
Argissolo Amarelo	27,90	23,31

Espodossolo Acinzentado	59,63	51,26
-------------------------	-------	-------

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As perdas de solo e água no Argissolo Amarelo foram superiores àquelas observadas no Espodossolo, como mostra a Tabela 3. A presença de gradiente textural, característico dos Argissolos, confere dificuldade à água infiltrar quando alcança o horizonte B, favorecendo assim o escoamento lateral e proporcionando maior perda de solo.

Tabela 3. Perdas de solo e água em um Argissolo Amarelo localizado no Município de Teixeira de Freitas e um Espodossolo no Município de Caravelas, Extremo Sul da Bahia

Tratamento	Perda de solo (Mg ha ⁻¹)	Perda de água (mm)
Argissolo Amarelo		
Eucalipto	0.0977	11.5254
Solo descoberto	567.4236	788.3991
Mata Nativa	0.0203	33.8276
Espodossolo Acinzentado		
Eucalipto	0.0836	7.9603
Solo descoberto	0.2456	20.9127
Mata Nativa	0.0323	3.6582

Legenda: Período corresponde a Outubro de 2012 a março de 2014 em Teixeira de Freitas e Agosto de 2012 a Março de 2014 em Caravelas

A estrutura em blocos do Argissolo resulta em maior resistência deste à erosão em sulcos, devido o arranjo face a face dos blocos que dificulta a desprendimento das partículas pelo impacto da gota de chuva. Entretanto, o gradiente textural aliado a alta coesão o torna mais suscetível à erosão laminar, sobrepujando o arranjo em blocos.

Segundo Valladares et al. (2012), nos Argissolos a velocidade de infiltração da água tende a reduzir quando alcança a camada subsuperficial com maior concentração de argila, contribuindo assim para uma maior erodibilidade dessa classe de solo.

Adicionalmente, a menor declividade na área onde se encontra o Espodossolo (4%) contribuiu para maior perda de solo na área do Argissolo, com declive de 9%. Quanto maior o desnível, maior a energia cinética da enxurrada e conseqüentemente maior o potencial de arraste das partículas do solo.

Corroborando com o exposto, Resende et al. (1988) citam que em Latossolos Amarelos basta uma pequena inclinação para que o sistema torne-se exportador de nutrientes por erosão devido a baixa permeabilidade aliada a alta pluviosidade típica dos ambientes onde estes solos são encontrados. Com a mudança no sistema brasileiro de classificação dos solos, muitos solos anteriormente classificados como Latossolos Amarelos foram incluídos na classe dos Argissolos Amarelos.

Cândido et al. (2014), avaliando perdas de solo em floresta homogênea de Eucalipto, apontam a declividade como atenuante das perdas de solo por erosão hídrica em sistemas florestais implantados no sentido do declive, mostrando assim a importância da adoção de práticas conservacionistas como o plantio em nível.

Outro fator relevante na redução da erosão hídrica é a cobertura vegetal. A Tabela 3 e as Figuras 3 e 4 mostram perdas de solo em quantidades superiores, independente da classe de solo, quando o mesmo é mantido sem cobertura vegetal.

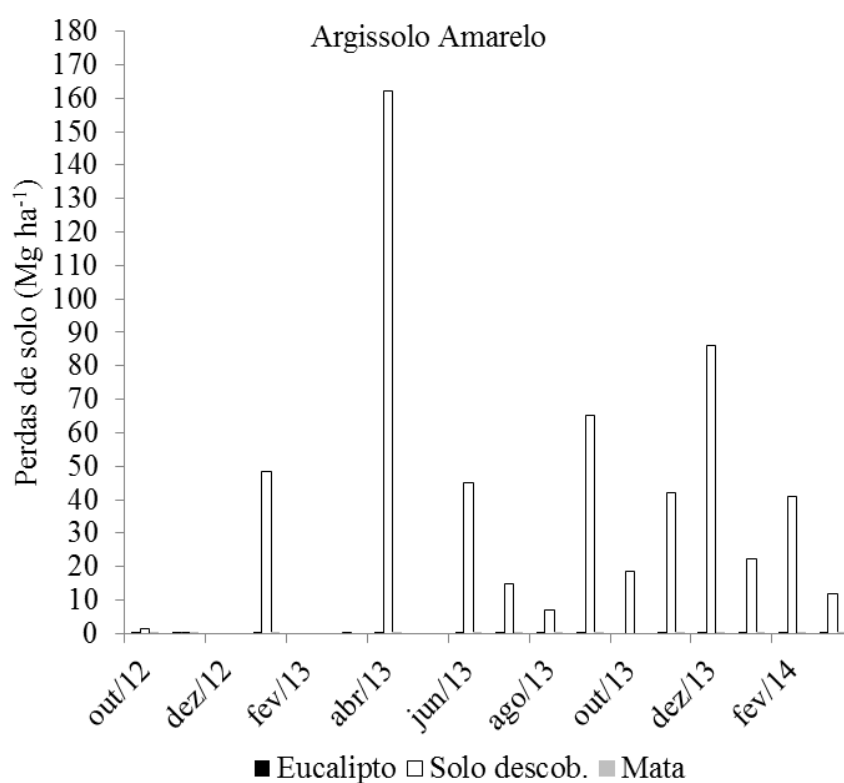


Figura 3. Perdas de solo em um Argissolo Amarelo no Município de Teixeira de Freitas (BA), no período de Outubro de 2012 a Março de 2014

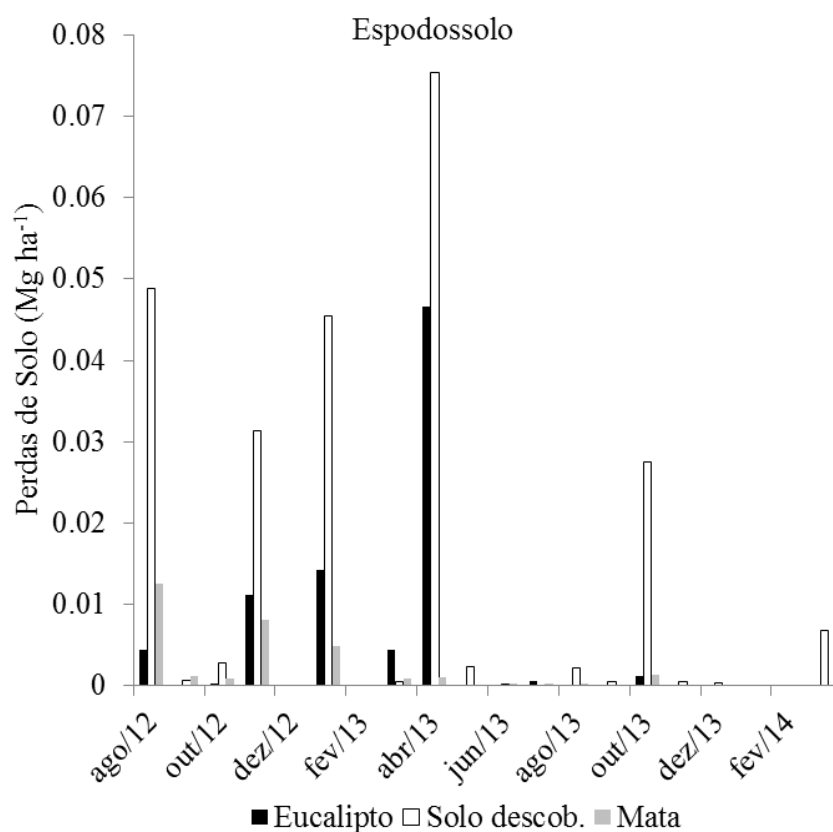


Figura 4. Perdas de solo em um Espodossolo no Município de Caravelas (BA), no período de Agosto de 2012 a Março de 2014

A ausência de vegetação favoreceu o processo erosivo por expor o solo ao impacto desagregante da gota de chuva. A área com cultivo de eucalipto no Argissolo Amarelo reduziu as perdas e conferiu proteção ao solo, representando apenas 0,017% do total perdido pelo solo descoberto, enquanto no Espodossolo tais perdas representaram 34,04% do total. Neste último caso é importante observar que as perdas de solo foram baixas para todos os tratamentos.

O plantio do Eucalipto foi realizado no ano de 2012, assim a proteção oferecida pela cultura com 18 meses de idade é menor que a proteção ao solo gerada pela área de copa da planta na fase adulta. Estudo sobre perdas de solo em sistemas florestais realizado por Oliveira et al. (2013) indica que não somente a espécie, mas também a idade da planta influenciam diretamente nas perdas de solo por erosão.

A área de mata nativa conferiu, em todas as situações, melhor proteção ao solo. A ausência de interferência antrópica nesta área garante o equilíbrio do ambiente e a vegetação densa favorece a interceptação da gota de chuva e reduz sua energia cinética.

No mês de abril de 2013 foi observada a maior perda de solo na parcela sem cobertura vegetal, em ambas as regiões. A erosividade deste mês foi de 482,23 e 1346,90 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ para Teixeira de Freitas e Caravelas, respectivamente. Tais valores de erosividade estão acima da média mensal para o período avaliado (Tabela 4), o que, aliado a ausência de cobertura vegetal, resultou em expressiva perda de solo quando comparadas aos demais meses.

Tabela 4. Precipitação e erosividade para os Municípios de Teixeira de Freitas e Caravelas, Extremo Sul da Bahia

	Precipitação (mm)	EI ₅₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹)
Teixeira de Freitas (BA)		
Média	100,46	310,21
Caravelas (BA)		
Média	104,35	503,30

A erosividade média do período avaliado foi de 310,21 e 503,30 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ para Teixeira de Freitas e Caravelas, respectivamente. Apesar da maior erosividade observada no Município Caravelas, as perdas de solo e água foram muito inferiores àquelas referentes a Teixeira de Freitas, o que reforça o efeito da classe de solo e da declividade contribuindo para maior erosão neste município.

Estudo realizado por Carvalho Filho et al. (2013) quanto a aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros brasileiros mostra que, de modo geral, os Espodossolos estão localizados na paisagem em regiões de deposição (Figura 5), sendo esperado assim uma menor perda de solo nesta classe, conforme observado no presente estudo.

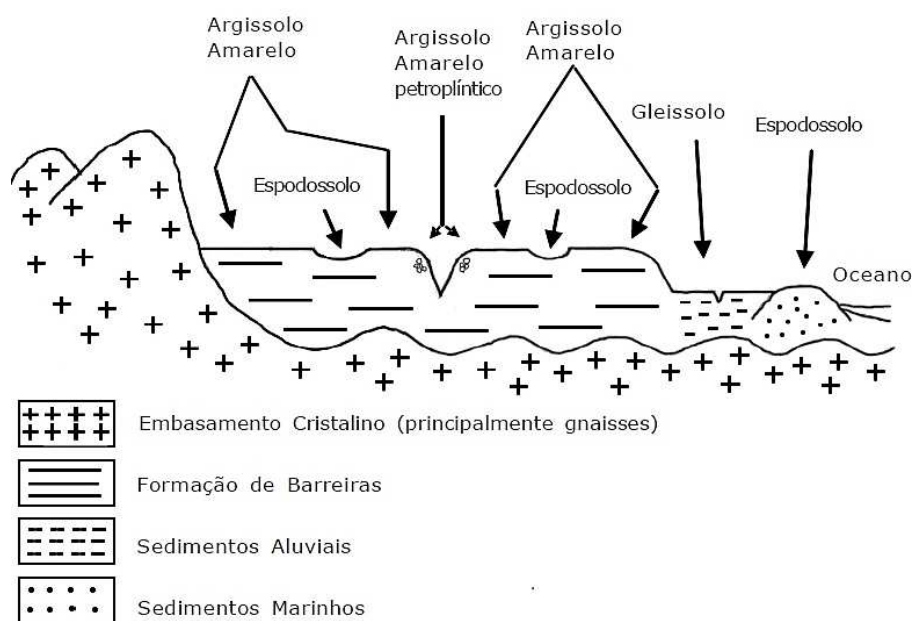


Figura 5. Distribuição e localização na paisagem dos solos dos Tabuleiros Costeiros brasileiros. (Fonte: Carvalho Filho et al., 2013).

O incremento médio anual observado nos cultivos de eucalipto em ambas as áreas (Tabela 2) mostra que onde houve maior perda de solo, Argissolo Amarelo, o IMA foi muito inferior ($23,31 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) se comparado com a área em Espodosolo ($51,26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), evidenciando assim a influencia das perdas de solo na produtividade da cultura, onde o sistema mais exportador de nutrientes devido a maior ocorrência de erosão tende a apresentar menor rendimento.

Quanto aos padrões de chuva, o avançado foi observado em maior número em ambas as áreas, seguido do atrasado e intermediário (Figura 6). Para Eltz et al. (2013), as chuvas de padrão avançado tendem a provocar menor perda de solo por erosão devido ao selamento superficial, desagregação e transporte de partículas serem reduzidos no início da chuva, quando comparados aos demais padrões.

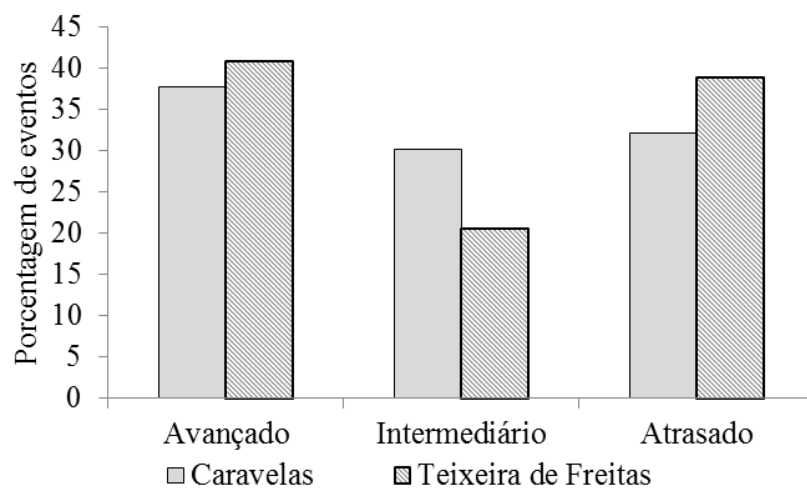


Figura 6. Padrões de chuva para o Município de Caravelas e Teixeira de Freitas, no Extremo Sul da Bahia.

Em contrapartida, o presente estudo mostra que o padrão de chuva avançado foi o que mais favoreceu a erosão, onde a maior perda de solo observada para o Argissolo Amarelo, bem como a maior erosividade, estão associadas ao padrão de chuva avançado (Tabela 5). Dos eventos erosivos que provocaram perdas de solo e água, 13 são classificados como avançados, 12 atrasados e 4 intermediários.

Tabela 5. Perdas de solo e água e respectiva precipitação, erosividade e padrão de chuva para um Argissolo Amarelo, no Município de Teixeira de Freitas-BA.

Eucalipto		Solo Descoberto		Mata Nativa		Características Pluviométricas		
-----Perdas-----								
Solo (Mg ha ⁻¹)	Água (mm)	Solo (Mg ha ⁻¹)	Água (mm)	Solo (Mg ha ⁻¹)	Água (mm)	P(mm)	EI ₃₀ *	Padrão
0.00020	0.10482	1.55155	2.03880	0.00033	0.24544	16.40	21.0602	Atrasado
0.00017	0.07158	0.05741	1.86193	0.00000	0.20709	38.80	90.8752	Atrasado
0.00002	0.04091	0.00165	0.11504	0.00012	0.09204	20.80	77.0720	Avançado
0.00032	0.07158	0.00467	0.32980	0.00014	0.10738	21.80	23.2641	Avançado
0.00221	0.11248	0.33825	2.65984	0.00040	0.06903	22.60	72.5198	Avançado
0.03703	1.41825	48.59566	34.74532	0.00155	0.27305	32.40	254.5990	Avançado
0.00511	2.18705	1.47883	3.10649	0.00000	0.07670	37.40	105.0575	Avançado
0.00136	0.15186	0.66276	2.21642	0.00002	0.03375	16.40	46.7948	Atrasado
0.00925	1.14391	155.96189	31.50976	0.00130	0.52155	51.20	388.6905	Avançado
0.00236	0.26599	4.20884	3.45714	0.00000	0.00000	11.79	8.2230	Atrasado
0.00000	0.00000	0.45204	4.07848	0.00000	0.00000	15.00	15.6434	Avançado
0.00034	0.23644	11.81929	35.07843	0.00003	0.17733	30.60	160.8604	Atrasado
0.00000	0.00000	1.45217	9.24235	0.00000	0.00000	21.80	52.6694	Atrasado
0.00016	0.05320	1.30193	25.72475	0.00025	0.30146	23.80	41.7463	Avançado
0.00141	0.22756	6.99816	35.85750	0.00304	0.17732	42.00	108.3342	Atrasado
0.01272	1.38906	65.28354	67.15159	0.00022	0.26599	12.40	14.6130	Atrasado

0.00000	0.00000	0.08193	2.48257	0.00000	0.00000	10.80	25.4063	Atrasado
0.00000	0.00000	18.36714	27.05912	0.00000	0.00000	58.20	362.0530	Avançado
0.00075	0.23644	0.33334	11.46984	0.00133	0.53198	24.00	53.1686	Intermediário
0.00000	0.00000	0.86595	3.54641	0.00000	0.00000	11.80	55.3937	Intermediário
0.00000	0.00000	2.29871	3.19146	0.00000	0.00000	57.20	164.3227	Atrasado
0.00267	0.77433	62.17640	129.5160	0.00123	0.56745	44.20	218.3031	Atrasado
0.00034	0.10048	22.22460	79.62473	0.00083	1.24130	16.40	73.7627	Avançado
0.00000	0.00000	1.12606	10.57881	0.00000	0.00000	24.60	71.4970	Avançado
0.00000	0.00000	0.41397	2.48253	0.00000	0.00000	21.40	24.7258	Avançado
0.00096	0.36648	15.82045	40.42399	0.00003	0.17733	37.20	283.3442	Atrasado
0.00167	0.28963	3.08609	27.06098	0.00021	0.17733	38.60	340.1254	Intermediário
0.00066	0.21279	37.91492	49.33377	0.00000	0.00000	10.60	39.8404	Intermediário

* MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

Na região de Caravelas, observou-se comportamento semelhante. Dos 15 dados de perdas de solo e água, 6 estão associados ao padrão de chuva avançado, 5 intermediários e 4 atrasados (Tabela 6).

Tabela 6. Perdas de solo e água e respectiva precipitação, erosividade e padrão de chuva para um Espodossolo, no Município de Caravelas-BA.

Eucalipto		Solo Descoberto		Mata Nativa		Características pluviométricas		
-----Perdas-----								
Solo (Mg ha ⁻¹)	Água (mm)	Solo (Mg ha ⁻¹)	Água (mm)	Solo (Mg ha ⁻¹)	Água (mm)	P (mm)	EI ₃₀ *	Padrão
0.00443	0.41376	0.04877	1.95059	0.01256	0.44330	57.9	46.2972	Atrasado
0.00018	0.03579	0.00066	0.09970	0.00115	0.04600	11.25	14.3736	Atrasado
0.00027	0.08692	0.00282	0.36815	0.00091	0.23776	62.7	224.021	Intermediário
0.00732	1.39275	0.01986	4.96519	0.00090	0.33747	147.6	1414.88	Avançado
0.00215	0.18918	0.00134	0.32213	0.00237	0.24543	16.8	26.2019	Avançado
0.00047	0.08692	0.00000	0.00000	0.00253	0.32980	31.00	75.7317	Avançado
0.01419	1.98016	0.04551	4.96518	0.00486	0.29145	17.4	27.0609	Avançado
0.04587	1.86193	0.06883	1.50726	0.00080	0.79798	58	1615.89	Atrasado
0.00077	0.17129	0.00658	0.19940	0.00028	0.09204	54.3	1114.78	Atrasado
0.00013	0.01687	0.00017	0.02761	0.00036	0.01533	14.264	20.2127	Intermediário
0.00010	0.01278	0.00000	0.00000	0.00027	0.03528	15	19.6508	Intermediário
0.00002	0.01636	0.00223	0.05366	0.00026	0.02556	15.4	10.0265	Intermediário
0.00015	0.01277	0.00051	0.04601	0.00014	0.01533	40.6	53.869	Intermediário
0.00002	0.00475	0.00022	0.08181	0.00011	0.00869	11.4	26.5176	Avançado
0.00003	0.01432	0.00023	0.02300	0.00006	0.01534	127.4	452.142	Avançado

* MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

Para a associação das perdas de solo e água com as características pluviométricas de cada município foram considerados apenas dados de perdas em que houve evento erosivo específico. Foram observadas em ambas as áreas a ocorrência de perdas de solo quando o evento chuvoso não foi considerado erosivo.

Apesar de estudos como o desenvolvido por Eltz et al. (2013) apontarem o padrão de chuva avançado como o que menos contribui para perdas de solo, sabe-se que chuvas com mesma erosividade podem resultar em diferentes perdas de solo, dependendo não exclusivamente do potencial erosivo da chuva, mas também da umidade antecedente do solo e da variação da intensidade do evento. Sendo assim, o baixo grau de saturação do solo torna este mais sujeito a erosão hídrica, sobretudo nos momentos iniciais do evento chuvoso. Associado a isto, a ocorrência do pico de intensidade nos momentos iniciais da chuva (padrão avançado) potencializa as perdas de solo e água (Mendes et al., 2011).

CONCLUSÕES

- 1- A região de Teixeira de Freitas, com Argissolo Amarelo, apresentou perdas de solo e água superiores às perdas observadas na região de Caravelas, em Espodossolo.
- 2- O incremento médio anual do eucalipto na área em Argissolo Amarelo, onde houve as maiores perdas de solo, foi inferior ao observado no Espodossolo Acinzentado.
- 3- O padrão de chuva predominante em ambas as regiões avaliadas é o Avançado.
- 4- O cultivo de Eucalipto mostrou-se eficiente na redução das perdas de solo e água por erosão hídrica.

REFERÊNCIAS

- Aquino, R. F.; Silva, M. L. N.; Freitas D. A. F.; Curi, N.; Avanzi, J. C. Soil losses from Typic Cambisols and Red Latosol within three different erosive rainfall patterns. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.213-220, 2013.
- Cabeda, M. S. V. Computation of storm EI values. West Lafayette: Purdue University, 1976. 6 p.
- Cândido, B. M.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Batista, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1565-1575, 2014.
- Cardoso, D. P.; Silva, M. L. N.; Carvalho, G. J.; Freitas, D. A. F.; Avanzi, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.6, p.632-638, 2012.
- Carvalho Filho, A. de; Curi, N.; Fonseca, S. Sistema informatizado e validado de avaliação da aptidão silvicultural das terras dos tabuleiros costeiros brasileiros para eucalipto. 1.ed. Lavras: Editora UFLA, 2013. 138 p.
- Cogo, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª aproximação). In: Encontro nacional de conservação do solo, 2, 1978, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1978. p 99-107.
- Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A.; Pascotini, P. B.; Amorim, R. S. S. Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS,

- de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.6, p. 647–654, 2013.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- Horner, W. W.; Jens, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, v.107, p.1039-1117, 1942.
- Mendes, C. A. R.; Mahler, C. F.; Andrade, A. G. Erosão superficial em Argissolo Amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1387-1396, 2011.
- Oliveira, A. H.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Avanzi, J. C.; Neto, G. K.; Araújo, E. F. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. *Revista de Ciência e Agrotecnologia*, v.37, p.159-169, 2013.
- Oliveira, L. C.; Bertol, I.; Campos, M. L.; Júnior, J. M. Erosão hídrica em plantio de pinus, em estrada florestal e em campo nativo. *Revista Floresta*, v. 44, p.239-248, 2014.
- Peel, M. C.; Finlaysson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.11, p.1633-1644, 2007.
- Pinheiro, A.; Kaufmann, V.; Schneiders, D; Gotardo, R. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada. *Revista Ambiente & Água*, v.8, p.109-123, 2013.
- Resende, M.; Curi, N.; Santana, D. P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Piracicaba: Ministério da Educação-ESAL-POTAFOS, 1988. 83p.

- Silva, M. A.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Avanzi, J. C.; Leite, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. *Revista Ciência Florestal*, v.21, p.765-776, 2011.
- Valladares, G. S.; Gomes, A. S.; Torresan, F. E.; Rodrigues, C. A. G.; Grego, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.47, p.1376-1383, 2012.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

ARTIGO 3: Modelagem e espacialização das perdas de solo em Argissolo Amarelo sob florestas nativas e plantadas na região Sul da Bahia

Normas da Revista Caatinga (Versão Preliminar)

RESUMO – Os modelos de predição de perdas de solo são ferramentas com significativa utilidade para o planejamento do uso e conservação do solo e, quando aliado aos sistemas de informações geográficas, avaliam quantitativamente as perdas de solo considerando a variação das mesmas no espaço. Deste modo, o objetivo do estudo foi aplicar a Universal Soil Loss Equation (USLE) para uma micro bacia experimental localizada no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia. Para tanto, foi calculado o fator erosividade da chuva, erodibilidade do solo, fator topográfico, cobertura e práticas conservacionistas, o produto da combinação destes fatores correspondeu à perda de solo na sub-bacia. Foram usados dados obtidos de parcelas de perdas de solo para validação do modelo. Verificou-se que a USLE superestimou as perdas de solo na sub-bacia e a cultura de eucalipto apresentou eficiência na redução das perdas de solo por erosão hídrica.

Palavras-chave: USLE, SIG, Eucalipto.

MODELING OF SOIL LOSS IN YELLOW ULTISOL

ABSTRACT – The soil loss prediction models are tools with significant utility for the planning of land use and conservation and, when combined with the geographic information systems, quantitatively assess soil losses considering the variation of the same space. Thus, the aim of this study was to apply the Universal Soil Loss

Equation (USLE) to a micro experimental basin located in the city of Teixeira de Freitas, extreme south of Bahia. Therefore, we calculated the erosivity factor of rain, soil erodibility, topographic factor, coverage and conservation practices, the product of the combination of these factors corresponded to soil loss in sub-basin. We used data obtained from soil loss plots for model validation. It was found that the USLE overestimated soil losses in the sub-basin and eucalyptus culture was efficient in reducing soil loss by erosion.

Keywords: USLE, GIS, Eucalyptus.

INTRODUÇÃO

As mudanças no uso da terra sem o adequado manejo podem tornar o solo mais suscetível a ação dos agentes erosivos, sendo a erosão hídrica a forma mais ativa de degradação do solo (EDUARDO et al., 2013). Medidas que visam combater os danos ambientais e econômicos promovidos pela erosão devem ser adequadamente elaboradas, garantindo sua eficiência.

O planejamento das práticas conservacionistas a serem adotadas nos sistemas de produção vegetal deve objetivar o prolongamento da capacidade produtiva e racionalidade no que diz respeito ao uso e conservação do solo (RAMPIM et al., 2012).

Para Oliveira et al. (2012), a compreensão dos processos erosivos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, considerada unidade básica de planejamento, é indispensável para o planejamento do uso do solo.

Neste contexto os modelos de predição de perdas de solo por erosão hídrica mostram-se como importantes ferramentas de

identificação de áreas afetadas ou sujeitas ao processo erosivo, além de favorecer a compreensão destes processos, avaliando possíveis causas e efeitos (SANTOS et al., 2006).

Tais modelos apresentam como vantagem a possibilidade de avaliação rápida de diversos cenários, além do baixo custo para sua aplicação. Adicionalmente, o emprego dos modelos auxilia tanto na prevenção da degradação ambiental pela erosão, quanto no controle dos processos já iniciados (MACHADO; VETTORAZZI; XAVIER, 2003).

As características desejáveis quanto as técnicas e métodos usados nas modelagens ambientais são relatadas por Lobão, Rocha e Silva (2011), os quais citam a necessidade de elaboração criteriosa e, ao mesmo tempo, ausência de demasiada complexidade, favorecendo assim sua aplicação.

De acordo com Cecílio et al. (2009), a modelagem do processo erosivo teve significativa evolução a partir da década de 50, quando foi criada a Universal Soil Loss Equation (USLE), ou Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS), a qual sofreu alterações positivas devido o avanço da informática, como a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada - RUSLE.

Amorim et al. (2010) atentam para a importância de estudos que avaliem e validem os modelos de predição de perdas de solo para as condições brasileiras, uma vez que a maioria dos modelos foi desenvolvida para regiões de clima temperado. Ainda de acordo com os autores, os poucos estudos realizados no Brasil com tal finalidade apenas aplicam os modelos, sem efetivamente validá-los.

A associação entre modelos de predição de perdas de solo e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem sido bastante útil para

melhoria dos resultados obtidos. O uso dos SIG possibilita, por meio do tratamento, análise e modelagem de dados, a extrapolação de informações úteis ao planejamento de uso do solo (SILVA et al., 2013).




Para Avanzi et al. (2013), a principal razão para utilização dos SIG é que os processos erosivos variam espacialmente, característica contemplada por estes quando o tamanho das células utilizadas é adequado. Adicionalmente, o uso do SIG permite aos planejadores quantificar perdas de solo em diferentes escalas.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo a aplicação e validação do modelo USLE em uma sub-bacia no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Extremo Sul do estado da Bahia, em uma sub-bacia experimental localizada no município de Teixeira de Freitas (Figura 1), com área de 199,49 ha. A região apresenta o tipo climático Af, conforme Köppen (PEEL et al., 2007), caracterizado por clima tropical quente e úmido, com temperaturas médias mensais superiores a 22 °C. O levantamento de solo realizado segundo Embrapa (2013) classificou o solo como Argissolo Amarelo, em toda a extensão da sub-bacia. O uso do solo na região consiste em Mata Nativa (referente floresta tropical subperenifólia) e Eucalipto, com ocorrência de áreas sem cobertura vegetal.

Legenda

-  Bahia
-  Teixeira de Freitas
-  Sub bacia hidrográfica

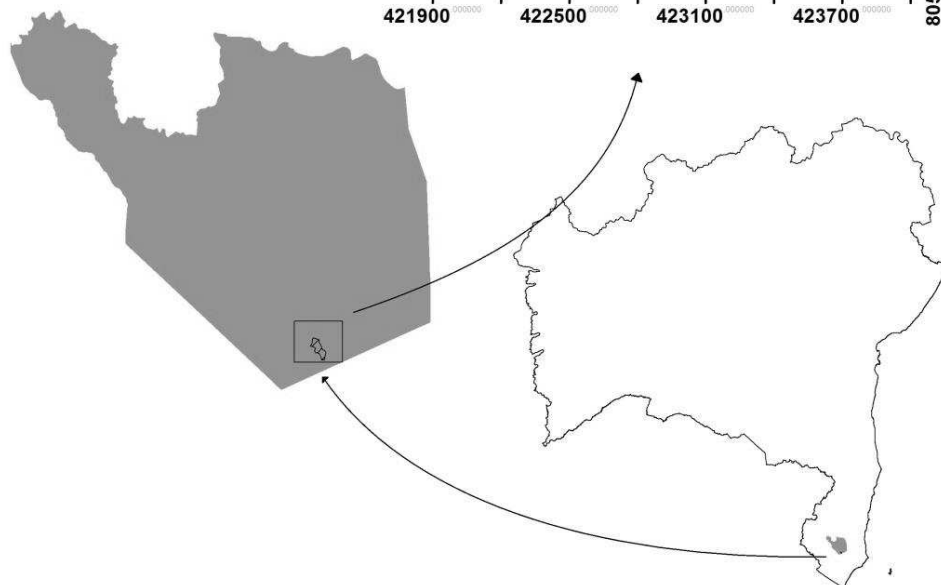
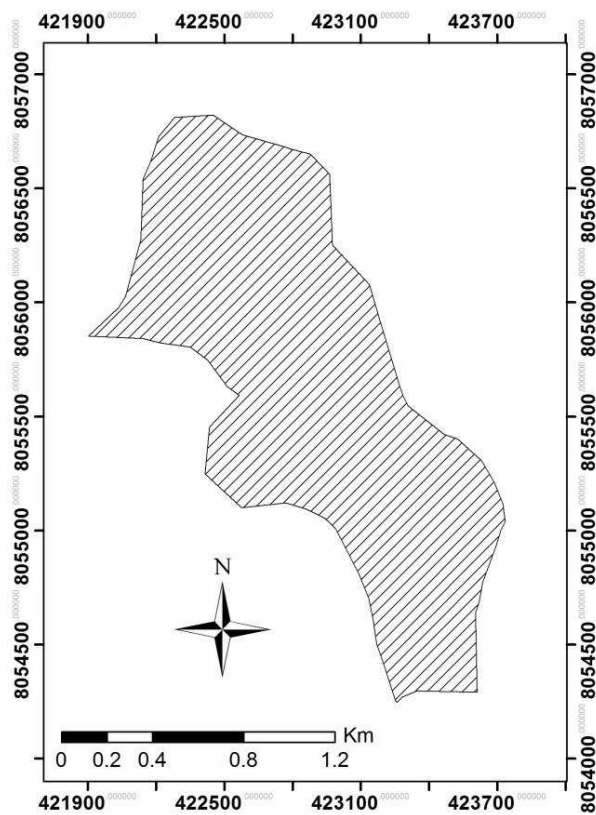


Figura 1. Localização da sub-bacia experimental, no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

Considerando a equação universal de perda de solo (USLE), foi estimada a perda de solo. Proposta por Wischmeier e Smith (1978), a expressão da USLE se dá conforme equação 1:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad [\text{Eq.1}]$$

Onde o fator A refere-se à perda de solo (expresso em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), o fator R é a erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), K é a erodibilidade do solo ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), LS equivale ao fator topográfico, que é adimensional e envolve a declividade (S) e o comprimento de rampa (L), C é o índice de cobertura vegetal ou fator uso e manejo, também adimensional. Por fim, o fator P, adimensional, representa as práticas conservacionistas.

O primeiro fator a ser calculado foi a erosividade da chuva (R) por meio da determinação do índice de erosividade EI_{30} , segundo metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978). Para tanto, foram utilizados dados pluviométricos obtidos em estação climatológica automatizada, localizada na área avaliada, com dados registrados em intervalos de 10 minutos.

A partir das precipitações foram calculadas energias cinéticas totais das chuvas para cada evento e sua intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}), sendo o índice de erosividade da chuva (EI_{30}) o produto da multiplicação entre a intensidade máxima em 30 minutos e a energia cinética da chuva.

A erodibilidade do solo foi calculada por meio de análise de regressão simples entre o fator erosividade mensal (X) e a perda de solo mensal (Y), considerando a equação linear. Deste modo, a

erodibilidade é a razão entre X e Y (MCGREGOR et al., 1969). Foi necessário considerar o fator LS da parcela [Eq.2] para realizar correção do fator K.

$$LS = 0,00984.C^{0,63}.D^{1,18} \quad [Eq.2]$$

Onde D equivale ao grau de declive expresso em porcentagem, C é o comprimento de rampa do terreno, em metros e LS é o fator topográfico para a parcela de perda de solo.

Para determinação do fator topográfico (LS) para toda a bacia foi elaborado um Modelo Digital de Elevação com resolução de 10 m, a partir de curvas de nível da área, fornecidas pela empresa Suzano Papel e Celulose®. Deste modo obteve-se o mapa de declividade (Figura 2).

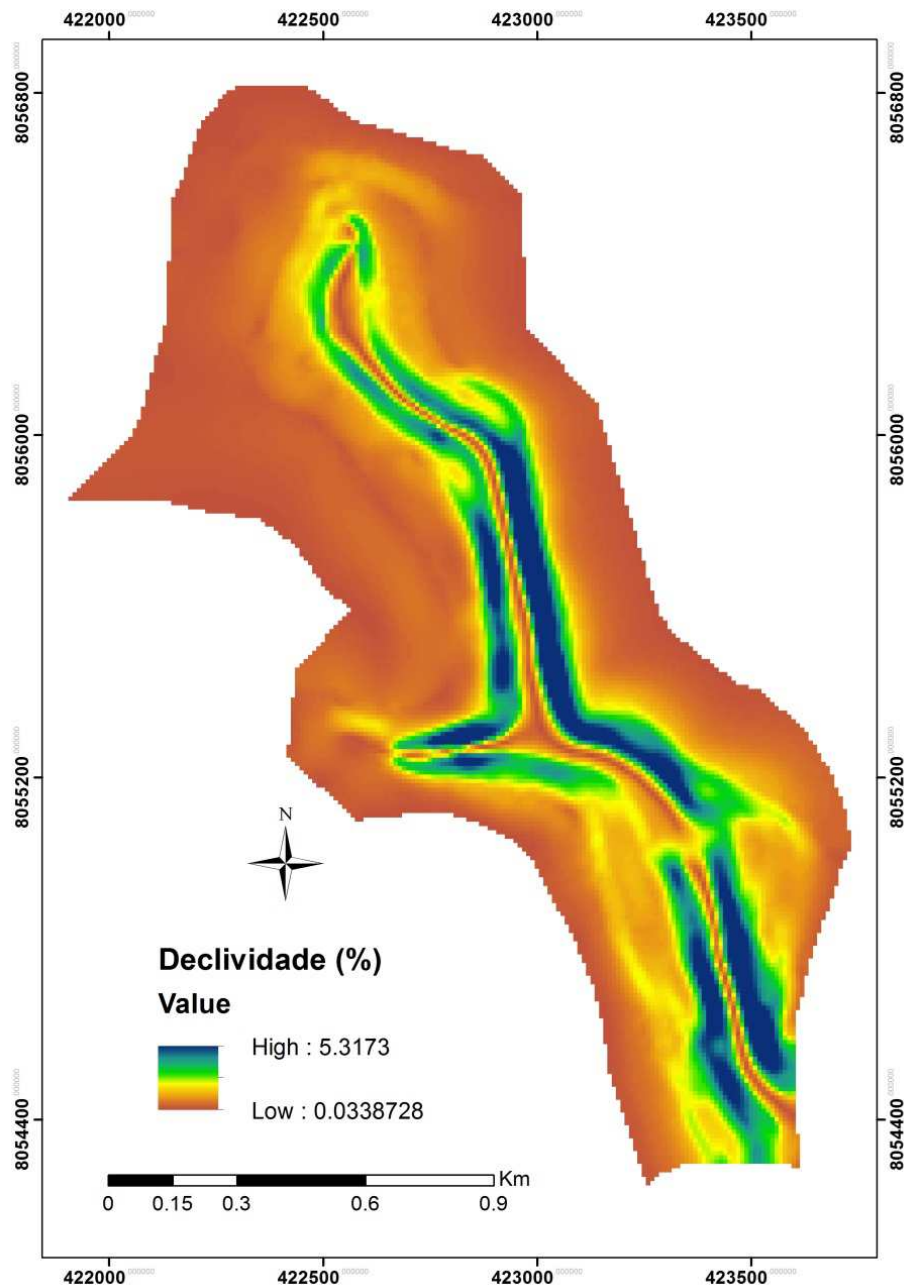


Figura 2. Mapa de declividade da Sub-bacia experimental no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

Para o comprimento de rampa foi considerado o tamanho do pixel, conforme mostra a equação 3 proposta por Renard et al. (1997):

$$L = (\lambda / 22,13)^m \quad [\text{Eq. 3}]$$

Sendo λ o tamanho da célula e o m o comprimento de rampa, que é expresso de acordo com a equação 4:

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad [\text{Eq.4}]$$

Onde o parâmetro β considera a erosão em sulcos, em entre sulcos e o ângulo θ do declive, sendo expresso pela equação 5 (MCCOOL et al., 1989):

$$\beta = (\sin\theta / 0,0896) / [3 * (\sin\theta)^{0,8} + 0,56] \quad [\text{Eq. 5}]$$

A inclinação do declive (S) foi obtida segundo McCool et al. (1987), expressa pelas equações 6 e 7:

$$S = 10,8 \sin\theta + 0,03 \quad (\text{se o declive} < 9\%) \quad [\text{Eq.6}]$$

$$S = 16,8 \sin\theta - 0,50 \quad (\text{se o declive} \geq 9) \quad [\text{Eq. 7}]$$

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), o fator uso e manejo equivale à relação entre as perdas de solo de um terreno sob uma cobertura vegetal e as perdas correspondentes de um terreno com solo sem cobertura vegetal (parcela padrão da USLE). Sendo assim, foi calculado o fator C segundo metodologia proposta por Wischmeier (1960). Determinando inicialmente Razão perda de solo (RPS) para cada cobertura existente na sub-bacia, de acordo com a equação 8:

$$RPS_i = \frac{\sum_{i=1}^n PS_c}{\sum_{i=1}^n PS_d} \quad [\text{Eq. 8}]$$

Onde PS_c é a perda de solo na área com cobertura e PS_d é a perda na parcela padrão da USLE. Adicionalmente, considerou-se a relação entre erosividade da chuva em cada fase da cultura (R_i) e a erosividade total do período avaliada (R_t), resultando na fração do índice de erosividade em 30 minutos (FEI_{30}), como mostra a equação 9:

$$FEI_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{R_c} \quad [\text{Eq.9}]$$

Por fim, o fator C é o produto da RPS_i pela FEI_{30} . Este fator foi calculado para ambas as coberturas vegetais avaliadas, sendo o fator C obtido para o Eucalipto referente à planta com apenas 18 meses. Para espacialização deste fator foi considerado o mapa de uso do solo da bacia (Figura 3), obtido por meio de imagem RapidEye.

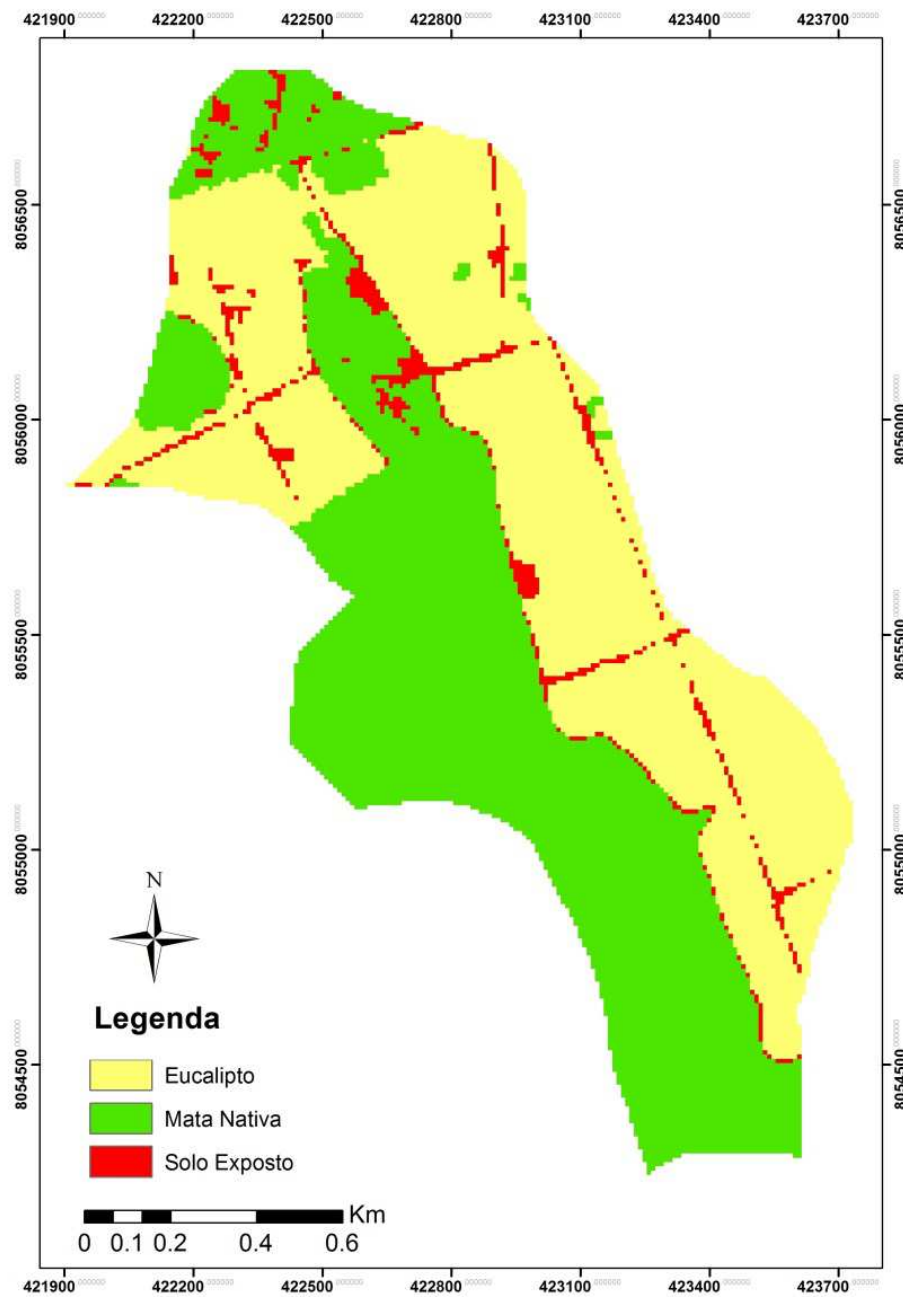


Figura 3. Mapa de uso do solo da Sub-bacia experimental no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

O fator Prática Conservacionista (P) é o produto das perdas de solo de um terreno cultivado com adoção de alguma prática conservacionista e as perdas de solo em cultivo morro abaixo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). A cultura de Eucalipto não é realizada em nível, deste modo adotou-se o valor de P igual a 1 para toda a sub-bacia.

Para validação do modelo foram considerados dados de perdas de solo obtidos em parcelas instaladas na sub-bacia, na área sob mata nativa, eucalipto e em solo descoberto, de acordo com metodologia proposta por Cogo et al., 1978. Toda a modelagem de perda de solo foi realizada no programa ArcGis, em sua versão 10.1®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de erosividade (EI_{30}) médio da região para o período de 2010 a 2013 foi de 3.438,21 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, variando de 1.136,24 a 5.245,37 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Figura 4).

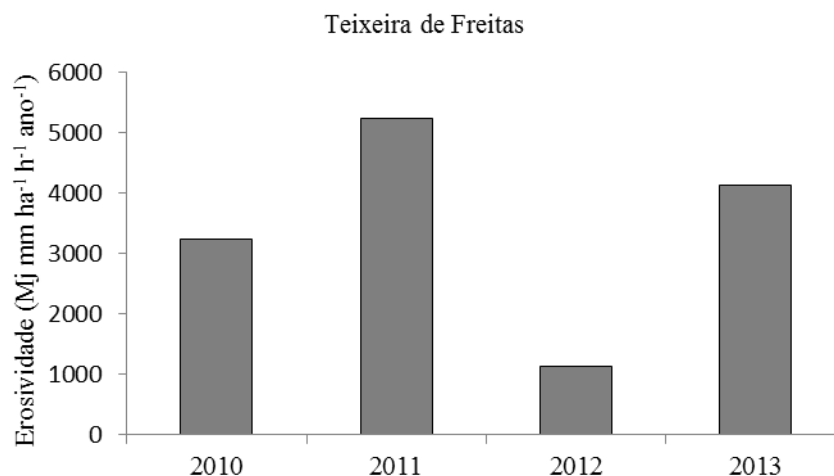


Figura 4. Índice de erosividade da chuva para o município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

Machado et al. (2013) afirmam que, nos trópicos, o fator climático de maior influência para erosão do solo é a precipitação, devido ao volume precipitado e à sua distribuição no tempo e espaço. O EI_{30} tem se mostrado um índice adequado para expressar a erosividade da chuva em regiões com características climáticas como as do Brasil. Segundo Martins et. al (2010), o EI_{30} tem sido largamente utilizado por diversos pesquisadores brasileiros, onde os resultados mostraram boas correlações com as perdas de solo.

A susceptibilidade à erosão, ou erodibilidade, determinada para o Argissolo Amarelo foi de $0,14 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, após correção pelo fator LS. O coeficiente de Pearson determinado para a mesma relação foi de 0,52, o qual reflete uma correlação positiva moderada (CAMARGO; SENTELHAS, 1997)

O valor encontrado para o fator K é considerado alto. Estudo realizado por Martins et al. (2011) em solos do Tabuleiro Costeiro, onde localiza-se a área do presente estudo, apresentou valor de K igual a $0,007 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para o Argissolo Amarelo. É importante considerar o pouco tempo de coleta do presente estudo, abrangendo apenas 18 meses de observação, necessitando de uma base de dados maior para obtenção de resultados com proporcional confiabilidade.

Adicionalmente, nos primeiros meses de coleta de dados há efeito das alterações no solo proporcionadas pela instalação da parcela, como desestruturação do solo, influenciando assim na maior suscetibilidade do solo aos processos erosivos.

O fator topográfico variou de 0,03 a 3,1 (Figura 5), tendo em 5,4% da área um LS superior a 2 e em 79% da área o LS menor que 1, como mostra a Tabela 1. Segundo Avanzi et al. (2013), valores mais altos de LS podem resultar em maior volume de enxurrada e aumento

da energia cinética da mesma, potencializando as perdas de solo. Corroborando com esta afirmação, Oliveira et al. (2010) afirmam que valores elevados de LS podem ocasionar maior escoamento superficial, gerando condições favoráveis à erosão hídrica.

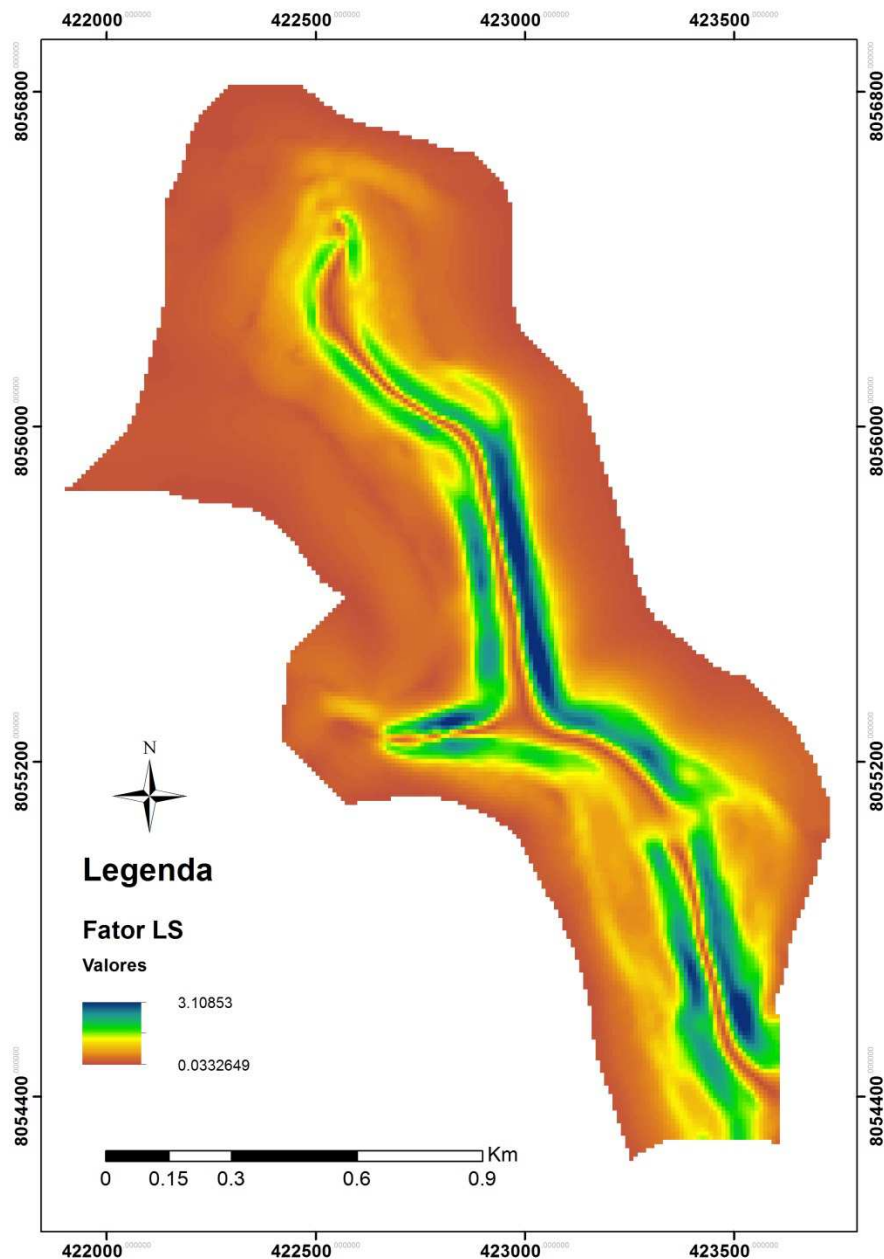


Figura 5. Fator topográfico (LS) da Sub-bacia experimental no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

Tabela 1. Distribuição do Fator Topográfico (LS) para Sub-bacia experimental no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

Classes de LS	Área (Km ²)	Área (%)
<0,25	0.6941	34.8
0,25-0,5	0.4825	24.2
0,5-1	0.3984	20.0
1-1,5	0.1791	9.0
1,5-2	0.1319	6.6
>2	0.1089	5.4

O fator C da equação para Eucalipto e Mata nativa foi igual a 0,005 para ambos, valor este que reflete a alta perda de solo observada na área sem cobertura vegetal, a qual recebeu o valor de C igual a 1. Os valores de C encontrados neste estudo indicam a boa cobertura do solo proporcionada pelo eucalipto, ainda que jovem.

Segundo Oliveira et al. (2013), a tendência é que a proteção ao solo contra o impacto da gota de chuva oferecida pela cultura do eucalipto aumente gradativamente com a maturidade da planta, o que se deve tanto ao aumento da área de copa quanto ao incremento de matéria orgânica ao passar dos anos, formando uma serapilheira espessa e reduzindo assim as perdas de solo na cultura. Deste modo observa-se a importância de considerar no plano de manejo da cultura a manutenção da serapilheira no solo.

A espacialização das perdas de solo para a sub-bacia obteve valor máximo equivalente a 1.445,6 Mg ha⁻¹ano, com 51,1% da área

apresentando valor de perda inferior a $1 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}$, 40% da área teve valor de perda entre 1 e $5 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}$, 4,6 % com perdas entre 5 e $10 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}$, 1,7% apresentando perdas entre 10 e $100 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}$ e em 2,6% da área foram encontradas perdas de solo superior a $100 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}$ (Figura 6). As áreas onde foram observados os valores de perdas mais elevados correspondem àquelas onde há uma associação de solo sem cobertura vegetal e elevada declividade do local, colaborando assim para a formação de enxurrada e arraste de partículas.

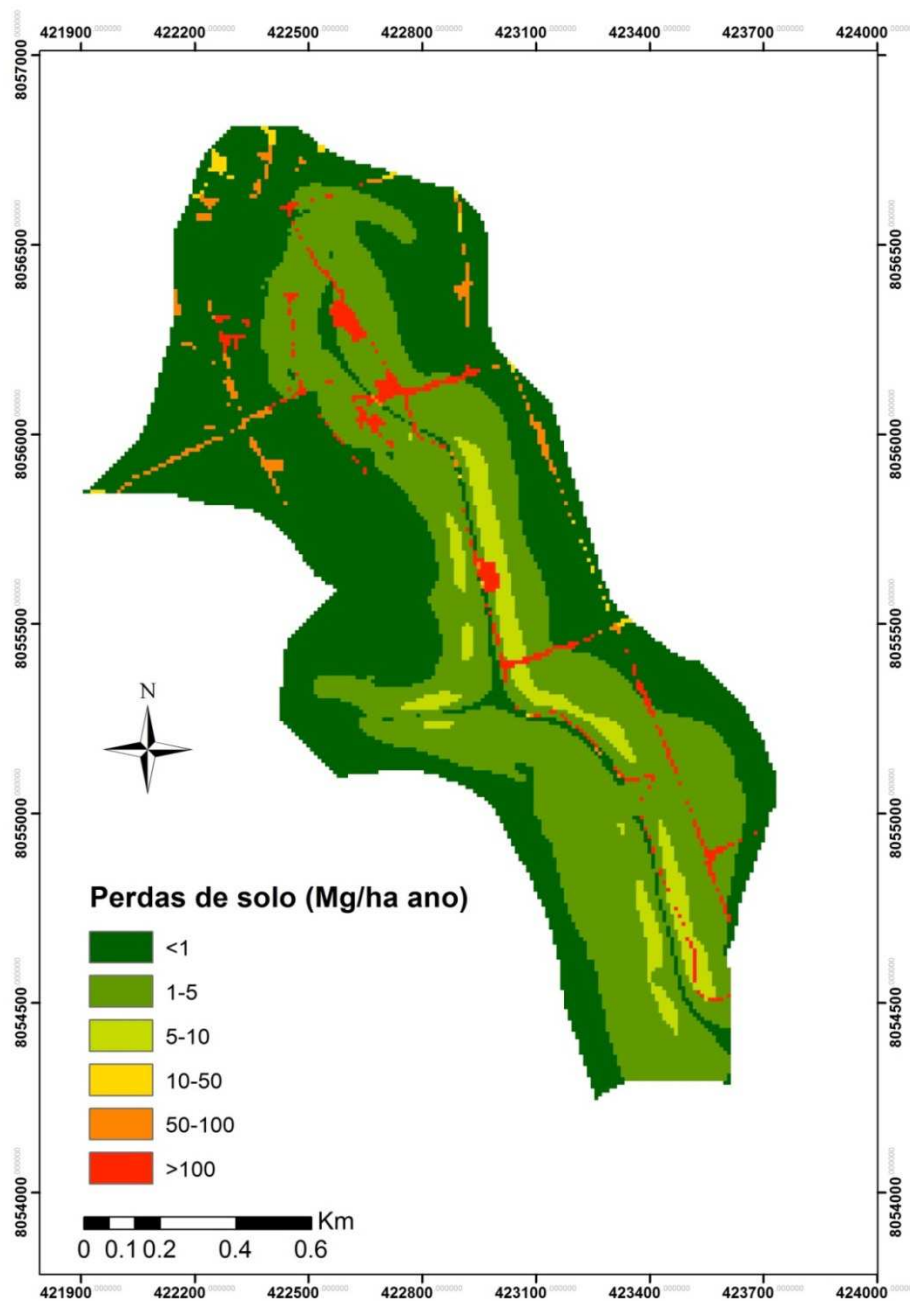


Figura 6. Perda de solo estimada para Sub-bacia experimental no Município de Teixeira de Freitas, Extremo Sul da Bahia.

Comparando as perdas de solo observadas nas parcelas com as estimadas pela USLE, observa-se uma superestimativa dos valores (Tabela 2). As perdas de solo reais na área de solo descoberto teve como valor máximo 155,96 Mg ha⁻¹ enquanto a área de eucalipto e mata nativa apresentaram valores extremos de 0,04 Mg ha⁻¹ e 0,003 Mg ha⁻¹ respectivamente.

Tabela 2. Perdas de solo médias segundo dados observados em campo e dados obtidos pelo modelo USLE.

Cobertura	Perdas de solo (Mg ha ⁻¹ ano)	
	Observado	USLE
Eucalipto	0.053	1.46
Mata Nativa	0.007	1.58
Solo Descoberto	309.919	350.98

A superestimativa das perdas de solo pela USLE também foi observada por Cabral et al. (2010), os quais explicam que a equação não considera o efeito da deposição durante o processo erosivo, resultando assim em uma superestimativa.

Corroborando com o exposto, Amorim et al. (2010) também encontraram valores de perdas de solo superestimados pela USLE, o que, segundo os autores, se deve ao caráter empírico do modelo, não considerando a distribuição temporal da chuva ao longo do ano.

O solo sob eucalipto apresentou baixa perda de solo, muito semelhante à área coberta com mata nativa. Considerando que o eucalipto apresenta apenas 18 meses de idade e sua copa ainda é pouco desenvolvida se comparada a área de copa da planta adulta, pode-se afirmar que a cobertura vegetal proporcionada pelo eucalipto é capaz de reduzir ou evitar as perdas de solo em proporções

significativas, representando apenas 0,017% de toda a perda de solo perdida na área sem cobertura vegetal.

É importante ressaltar a necessidade de continuação do estudo na área, a fim de obter um banco de dados mais completo, resultando em parâmetros da USLE com melhor ajuste e confiabilidade.

CONCLUSÕES

As perdas de solo estimadas pela USLE apresentaram valor superior aos observados em campo. A cobertura vegetal proporcionada pelo eucalipto mostrou-se eficiente na redução das perdas de solo por erosão hídrica, sobretudo ao considerar que a planta, no presente estudo, ainda é jovem (18 meses).

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. S. S. et al. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE E WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.1, p. 1046-1049, dez. 2010.

AVANZI, J. C. et al. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with Eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 427-434. out. 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. Piracicaba: Ceres, 2012. 355 p.

CABRAL, C. E. A. et al. Estimativa de perda de solo em sistemas de cultivo em lavouras de algodão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-8, 2010.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, mar. 1997.

CECÍLIO, R. A. et. al. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n. 2, p. 39-45, jun. 2009.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. II. Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1978. p. 99-107.

EDUARDO, E. N et al. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 796-803, jun. 2013.

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

LOBÃO, J. S. B.; ROCHA, W. J. S. F.; SILVA, A. B. Geoprocessamento na modelagem da vulnerabilidade natural à erosão no Município de Morro do Chapéu-BA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 63, p. 101-114, mar. 2011.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; A. C., XAVIER. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 727-733, ago. 2003.

MACHADO, R. L. et al. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 529-547, abr. 2013.

MARTINS, S. G. et al. Rainfall erosivity and rainfall return period in the Experimental Watershed of Aracruz, in the Coastal Plain of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 999-1004, jun. 2010.

MARTINS, S. G. et al., Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 322-327, set. 2011.

MCCOOL, D. K. et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.30, n.5, p.1387-1396, set. 1987.

MCCOOL, D. K. et al. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, set. 1989.

MCGREGOR, K. C., Erodibility factors for Ioring and Lexington soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 24, n. 1, p. 231-232, 1969.

OLIVEIRA, P. T. S. et al., Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. **Revista Ambiente e água**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 217-225, jul. 2010.

OLIVEIRA, A. H. et al., Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p.143-154, mar. 2012.

OLIVEIRA, A. H. et al. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 159-169, abr. 2013.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world Köppen-Geiger climate classification map. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, out. 2007.

RAMPIM, L. et al., Determinação da capacidade de uso do solo visando o manejo sustentável para uma média propriedade em Londrina-PR. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 251-264, abr. 2012.

RENARD, K.G. et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil**

Loss Equation (RUSLE). Washington: Department of Agriculture, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703).

SANTOS, V.S. et al., Análise e espacialização das perdas médias de solo por erosão hídrica laminar na bacia hidrográfica do Tenente Amaral em Jaciara, Mato Grosso, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p. 247-256.

SILVA, M. A. et al., Sistema de informações geográficas no planejamento de uso do solo. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**, Recife, v. 8, n. 2, p. 316-323, jun. 2013.

WISCHMEIER, W.H. Cropping-management factor for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 24, n.1, p. 322-326, jul. 1960.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58 p, (Agriculture Handbook, 5).