



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
Departamento de Geografia – GEA

**ESTUDO MULTITEMPORAL DA CONSERVAÇÃO DO SOLO
EM ÁREAS MILITARES: BACIA DO RIO PRETO – GO/DF/MG**

Vilson Rocha Corrêa

**BRASÍLIA,
JULHO DE 2018.**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB

Departamento de Geografia – GEA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

MESTRADO EM GEOGRAFIA.

**ESTUDO MULTITEMPORAL DA CONSERVAÇÃO DO SOLO
EM ÁREAS MILITARES: BACIA DO RIO PRETO –
GO/DF/MG**

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, linha de pesquisa Análise de Sistemas Naturais.

Orientador: Dr. Rogério Uagoda

**BRASÍLIA,
JULHO DE 2018.**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
Departamento de Geografia – GEA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

**ESTUDO MULTITEMPORAL DA CONSERVAÇÃO DO SOLO
EM ÁREAS MILITARES: BACIA DO RIO PRETO –
GO/DF/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia,
Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, como requisito parcial para
obtenção de grau de Mestre em Geografia.

Banca examinadora:

Brasília, 26 de Julho de 2018.

Prof. Dr. Rogério Uagoda, GEA/UnB
Orientador

Prof. a. Dra.. Ruth Elias de Paula Laranja
Examinadora Interna, Professora Adjunto (UnB)

Dr. Sandro Filippo
Examinador Externo, Coronel do Exército (Engenheiro Militar)

Prof. Dra. Helen da Costa Gurgel
Examinador Interno, Professor Adjunto (UnB) (Suplente)

CORRÊA, VILSON ROCHA.

Estudo multitemporal da conservação do solo em áreas militares: Bacia do Rio Preto – GO/DF/MG.

(UNB/GEA – Vilson Rocha Corrêa, Brasília/DF. 2018)

Dissertação – Departamento de Geografia, Universidade de Brasília.

Curso de Mestrado em Geografia.

Orientador: Rogério Uagoda.

1. Erosão 2. EUPS 3. Análise Multitemporal 4. Geoprocessamento

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Corrêa, Vilson Rocha. **Estudo multitemporal da conservação do solo em áreas militares: bacia do Rio Preto – GO/DF/MG.** (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2018. 90 p.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do autor(a): Vilson Rocha Corrêa

Estudo multitemporal da conservação do solo em áreas militares: bacia do rio Preto – GO/DF/MG.

Grau/ano: Mestre/2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTO

Agradeço,

À Deus, meu referencial, pela motivação restaurada a cada dia e por tudo o mais.

À minha família pela paciência em especial aos meus pais, Sebastião Corrêa que já não vive mas entre nós e Zeli Rocha Corrêa, meus grandes incentivadores, pela confiança depositada e por serem meus maiores incentivadores e responsáveis por todas as minhas conquistas.

Ao meu orientador Dr. Rogério Elias Soares Uagoda pelas correções, troca de informações, bases de dados e material bibliográfico, bem como pela convivência agradável e harmoniosa.

Aos professores integrantes do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Programa de Pós Graduação em Geotecnia e Centro de Desenvolvimento Sustentável, pelo aprendizado adquirido durante as disciplinas realizadas.

À Embrapa, especialmente ao Dr. Éder de Souza Martins, pelo apoio antes, durante e depois do trabalho de campo.

Aos colegas e amigos do mestrado e doutorado, em especial a doutoranda Ludmagna, pelo apoio prestado durante o curso de mestrado.

E a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a consolidação deste trabalho.

Muito obrigado.

| | |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1. Fluxograma dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo e do Mapa de Vulnerabilidade (Elaborado pelo autor) | 23 |
| Figura 2. Localização da área de estudo. Escala federal, estadual e municipal. A bacia abrange os estados de GO, DF e MG. A divisão entre os estados de GO e DF, dentro da bacia, é o próprio Rio Preto. Elaborado pelo Autor (2018). | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 3. Cambissolo Háplico (CX), Gleissolo (G), Latossolo Vermelho (LV) Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (RQ). Valores de referência, conforme Tabela 3. Modificado pelo autor | 33 |
| Figura 4. Fluxograma de etapas e variáveis para estimar perda de solo, SILVA et al (2007), adaptado pelo autor..... | 36 |
| Figura 5. Mapa da bacia hidrográfica do alto Rio Preto e os pontos das estações de coletas. Elaborado pelo autor..... | 38 |
| Figura 6. Fluxograma de etapas e variáveis para determinar Potencial Natural a Erosão. (adaptado de CHECCHIA, 2004). Pelo Autor..... | 45 |
| Figura 7. Mapas de uso e ocupação do solo, 1970 a 2016. Editado de Pacheco, et al, 2018. | 49 |
| Figura 8. Mapa multitemporal da Pluviosidade. (Elaborado pelo autor). | 52 |
| Figura 9. Fator R (EROSIVIDADE, unidade em MJ.mm/ha.h.ano). Elaborado pelo autor. | 55 |
| Figura 10. FATOR L ENCONSTAS (unidade em m). | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 11. Mapa fator S declividade (unidade em graus)..... | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 12. mapa fator LS encosta e declividade. Elaborado pelo autor. Erro! Indicador não definido. | |
| Figura 13. Fator K ERODIBILIDADE (to/ha/ano). Elaborado pelo autor. | 61 |
| Figura 14. FATOR C (uso e manejo do solo). (Elaborado pelo autor). | 64 |
| Figura 15. PNE to/ha/ano. | 68 |
| Figura 16. EUPS (elaborado pelo autor). | 71 |
| | |
| Gráfico 1. Percentual da distribuição das classes de solo na bacia do alto rio Preto..... | 34 |
| Gráfico 2. PNE | 68 |
| Gráfico 3. Toda a bacia | 72 |
| Gráfico 4. Área do CIF..... | 72 |
| Gráfico 5. Área 2 fora do CIF | 73 |
| Gráfico 6. Bacia medida de pixel a pixel | 73 |
| Gráfico 7. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 1970 | 74 |
| Gráfico 8. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 1980 | 75 |
| Gráfico 9. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 1990 | 76 |
| Gráfico 10. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 2000 | 76 |
| Gráfico 11. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 2010. | 77 |
| Gráfico 12. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 2016 | 77 |
| | |
| Tabela 1 | 37 |
| Tabela 2. Estações trabalhadas e coordenadas geográficas..... | 38 |
| Tabela 3. Erodibilidade dos solos (fator K)1 da bacia do Rio Paracatu..... | 41 |
| Tabela 4. Classes de interpretação dos valores de K..... | 42 |
| Tabela 5. Interpolação dos fatores C e P em função das classes de uso da terra..... | 43 |
| Tabela 6. Classes de CP adotadas para a Bacia do Rio Preto-GO..... | 44 |
| Tabela 7. Classes de interpretação para a perda de solo potencial na Bacia do Rio Urucua..... | 45 |
| Tabela 8. Classes de interpretação para a estimativa de perda de solo atual na Bacia do Rio Preto - GO | 50 |
| Tabela 9. PNE | 68 |
| Tabela 10. Toda a bacia inserida | 71 |
| Tabela 11. Área do CIF | 72 |
| Tabela 12. Área 2 fora do CIF..... | 72 |
| Tabela 13. Toda a Bacia medida de pixel a pixel..... | 73 |
| Tabela 14. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 1970..... | 74 |
| Tabela 15. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 1980..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Tabela 16. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 1990..... | 75 |
| Tabela 17. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 2000..... | 76 |
| Tabela 18. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 2010..... | 77 |
| Tabela 19. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 2016..... | 77 |

Sumário

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 10 |
| OBJETIVOS | 12 |
| GERAL | 12 |
| ESPECÍFICOS | 12 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| EROSÃO | 14 |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 16 |
| ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL | 17 |
| PIPING | 17 |
| SPLASH E FORMAÇÃO DE CROSTAS | 18 |
| INFILTRAÇÃO, ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DE RUNOFF | 18 |
| TIPOS DE EROSÃO: | 19 |
| EROSÃO EM LENÇOL OU SUPERFICIAL | 19 |
| EROSÃO EM RAVINAS | 20 |
| EROSÃO EM VOÇOROCAS | 21 |
| EUPS | 22 |
| FATOR R | 25 |
| FATOR LS | 25 |
| FATOR K | 26 |
| FATOR C P | 28 |
| PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 29 |
| ÁREA DE TRABALHO | 29 |
| Clima | 30 |
| Vegetação | 31 |
| Geologia Regional e Estrutural | 31 |
| Pedologia | 33 |
| METODOLOGIA | 35 |
| Fator LS (topoGráfico) | 36 |
| FATOR R (EROSIVIDADE) | 37 |
| FATOR K (ERODIBILIDADE) | 40 |
| FATOR CP | 42 |
| POTENCIAL NATURAL A EROSÃO (PNE) | 44 |
| CONFECÇÃO DO MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA | 45 |

| | |
|----------------------------------|----|
| CONFEÇÃO DO MAPA DE EROSÃO ATUAL | 50 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 50 |
| FATOR R | 51 |
| FATOR LS | 57 |
| FATOR K | 60 |
| FATOR CP | 61 |
| PNE | 65 |
| USLE/EUPS | 69 |
| CONCLUSÃO | 78 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |

RESUMO

A Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) vem sendo amplamente utilizada para o cálculo da perda de solos nos mais variados biomas. O bioma Cerrado, segundo maior da América do Sul, possui uma área correspondente a quase 22% do território brasileiro, apresentando elevada relevância em termos de diversidade biológica e dos recursos hídricos. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo fazer o uso da EUPS para calcular o total de solos perdido entre as décadas de 1970 a 2016 na região da Bacia do Alto Rio Preto – Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais, sendo esta subdivida em: área militar, áreas agrícolas e áreas urbanas (todas elas apresentando o cerrado como vegetação típica), visando observar qual o impacto que cada um destes usos da terra provocam, sobretudo para perda laminar de solo. Para uma área de 3.500 km², aplicou-se a EUPS utilizando os seguintes parâmetros: 12 estações pluviométricas com dados coletados entre os anos de 1970 a 2016, para calcular a erosividade da chuva (fator R), cujo o valor é obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva (E) e a sua intensidade máxima em 30 min (I_{30}); SRTM com 90 metros de precisão para o cálculo do fator comprimento do declive (L) e, fator grau do declive (S); cálculo do fator uso, manejo e cobertura do solo (C) e, P o fator práticas conservacionistas de suporte do solo através de classificações de uso de solo (Pacheco et al, 2018) em análises de imagens de satélite obtidas pelo LANDSAT (5, 7, 8) em cenas de 1970, 1973, 1991, 2000, 2010 e 2016; Mapa de Solos em escala 1:250.000 (Fonte: ZEE-RIDE, CPRM, 2003) melhorado com dados de grupos litológicos da mesma fonte e, MDT SRTM 90m, para o cálculo do Fator K. A análises em síntese resultou em classe baixa de perda de solo para toda área, com predomínio de latossolos e com baixo grau de declividade. Sendo que nas décadas de 1980 e 1990 houve aumento das perdas de solo devido ao desmatamento e aumento das pastagens. A partir da década de 2000, o manejo agrícola ajudou na contenção da perda de solos. A área militar do CIF (Campo de Instrução de Formosa), sempre teve números irrisórios de perda de solos desde sua consolidação na década de 1980. Os resultados da análise espaço-temporal serviram como base para demonstrar os impactos dos processos erosivos que ocorreram com o desmatamento do Cerrado. Além disso, as informações geradas proporcionaram melhor compreensão da dinâmica do Cerrado podendo auxiliar na tomada de decisões de medidas de gestão e manejo de florestas e de uso do solo consciente.

Palavras Chaves: EUPS, escoamento superficial, erosão superficial, uso e ocupação.

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (EUPS) has been widely used to calculate the loss of soils in the most varied biomes. The Cerrado biome, the second largest in South America, has an area corresponding to almost 22% of the Brazilian territory, presenting high relevance in terms of biological diversity and water resources. In this context, this study aimed to make use of EUPS to calculate the total soils lost between the 1970s and 2010s in the Alto Rio Preto Basin - Goiás, Federal District and Minas Gerais, which is subdivided into: military, agricultural areas and urban areas (all of which present the cerrado as typical vegetation), in order to observe the impact that each of these uses of the land provoke, under everything for laminar soil loss. For an area of 3,500 km², the EUPS was applied using the following parameters: 12 rainfall stations with data collected between 1970 and 2016 to calculate rain erosivity (R factor), whose value is obtained by the product between the total kinetic energy of the rain (E) and its maximum intensity in 30 min (I30); SRTM with 90 meters of precision for the calculation of slope length factor (L) and, slope grade factor (S); (C), and (Pacheco et al., 2018) in the analysis of satellite images obtained by LANDSAT (5, 7, 8) in scenes from 1970, 1973, 1991, 2000, 2010 and 2016; Map of Soils at scale 1: 250,000 (Source: ZEE-RIDE, CPRM, 2003) improved with data from lithological groups from the same source and, MDT SRTM 90m, for the calculation of Factor K. The analysis in synthesis resulted in low class of loss of soil for all areas, with a predominance of latosols and with a low degree of slope. Since in the 1980s and 1990s there was an increase in soil losses due to deforestation and increased pastures. Since the 2000s, agricultural management has helped contain soil loss. The CIF military area has always had negligible numbers of soil loss since its consolidation in the 1980s. The results of the space-time analysis served as a basis to determine the impacts that deforestation of the Cerrado under intensification of erosion processes. In addition, the information generated provided a better understanding of the dynamics of the Cerrado and could help in the decision making of forest management and management measures and the use of the conscious soil.

Keywords: EUPS, surface runoff, surface erosion, use and occupation.

INTRODUÇÃO

Segundo Magalhães (2001) a erosão é uma ação que resulta na transformação da paisagem através do transporte dos solos originados a partir das ações dos agentes externos ou exógenos que versa no desgaste na face terrestre, prosseguido pela condução e deposição de sedimentos. Trata-se de um processo natural, entretanto, a ação humana colabora para a sua intensificação. O processo descontrolado de erosão causa grandes danos para o meio ambiente, pois atua na perda do solo, dificultando a conservação de espécies animais e vegetais, além de atrapalhar as atividades humanas.

As erosões têm vários estágios, que dependem da profundidade e da importância de sua ocorrência. Geralmente, elas começam com o processo de limpeza superficial dos solos, conhecida como lixiviação ou erosão laminar; depois, elas se intensificam através ação das chuvas e dos ventos, surgindo alguns buracos e “linhas” marcadas sobre o solo ou erosões em sulcos ou sulcos erosivos.

A EUPS foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), na Universidade de Purdue (EUA), com dados de escoamento superficial e de perdas de solo de 48 estações experimentais localizadas em 26 estados dos EUA. É amplamente utilizada, seja em pesquisas aplicadas em bacias hidrográficas ou em glebas experimentais. Quando se utilizam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aliados à EUPS, ela permite a diferenciação da paisagem através de modelagens, que versam a simulação da metodologia e distribuição dos fenômenos (MITASOVA *et al*, 1997), visando uma forma técnica de tomada de decisões, cujo o objetivo é minimizar os impactos gerados pela lavoura intensiva.

Desde a década de 1970 o cultivo de commodities substituiu grande parte do cerrado natural por milho, soja, sorgo e pastagens, sendo que estas formas de uso da terra não apresentam o mesmo nível de recarga para o aquífero, afetando a quantidade e distribuição de nascentes. Os momentos mais críticos dessa ocupação foram durante as décadas de 1980 a 1990, momento em que as transformações econômicas atribuíram um processo de ocupação em larga escala do bioma cerrado, com subtração de vegetação original, aumentando exponencialmente áreas de solo exposto; já na década de 1990, os efeitos dessa ocupação avançaram de forma incisiva, gerando a consolidação das áreas agrícolas e os grandes conglomerados urbanos (CARVALHO *et al* 2006).

Essa ocupação intensa nas últimas quatro décadas intensificou os processos de assoreamento de reservatórios e cursos de água, além da perda de solos férteis utilizados pela

atividade agrícola. Isso tem provocado uma intensa investigação e vários debates sobre os mecanismos causadores do fenômeno, bem como sobre diagnóstico das possíveis medidas a serem adotadas para o seu controle e manejo. De forma que uma melhor compreensão dos agentes causadores de erosão, associada à adoção de medidas de controle do uso e ocupação do solo, ajudam na elaboração de ferramentas para o desenvolvimento econômico e social da região (CARVALHO *et al* 2006).

As Forças Armadas, mais especificamente o Exército Brasileiro, possui sob sua responsabilidade uma vasta área territorial, a qual é caracterizada por ter sofrido fortes processos de origem antrópica no passado. Ao ficarem sob a tutela Militar, estas áreas passaram por um processo de reflorestamento natural (GUIMARÃES 2012).

O Campo de Instrução do 6º Grupo de Lançadores Múltiplos de Foguetes, ou apenas Centro de Instrução de Formosa (CIF) está inserido no perímetro da sub-bacia do alto Rio Preto, que faz parte da bacia do Rio Paracatu, importante afluente do Rio São Francisco, sua área total de drenagem é de aproximadamente 318.459 ha, distribuída nos estados de Goiás (GO), Distrito Federal (DF) e Minas Gerais (MG). Sob tutela do Exército Brasileiro, a reserva apresenta um total de 114.266 ha, que representa 35,8% de toda a área da bacia do alto Rio Preto. O campo é utilizado para treinamentos diversos e defesa nacional, que abriga o Sistema de Artilharia de Foguetes para Saturação da Área (ASTROS II).

O CIF, como é conhecida a área militar nos limites da bacia, entre 1970 e 2016, conseguiu recuperar 14% da vegetação original de cerrado. A agropecuária sofreu uma redução de 10%, seguido pelo solo exposto em 1%, na área urbana pavimentada não houve alterações significativas. O cerrado da área do CIF corresponde à vegetação com maior percentual de reflorestamento e, menor percentual de degradação seja por ação da agropecuária, perda de mata galeria, ou aumento de área de solo exposto, quando comparado à parte da bacia que não pertence ao CIF. Sua área urbanizada não obteve avanços significativos ao longo do período estudado (BATISTA *et al*, 2018).

O presente trabalho iniciou como parte do acordo de cooperação técnica (ACT 12-047-00) firmado entre a UnB e o Exército Brasileiro, que findou em 2017. Tal acordo teve como objetivo realizar estudos ambientais na área do CIF, com o objetivo de identificar e quantificar os processos erosivos atuantes na perda de solo da região. Também tratou de catalogação da presença de mamíferos na região.

Durante a vigência do acordo foram realizados projetos científicos na Área do CIF.

Sena *et al* (2016) buscou a relação entre as formas das encostas e a distribuição de solos. Scharge & Uagoda (2017) estudaram relação entre os tipos de solos e rochas com a formação de lagos fechados. Noronha (2016) verificou quais elementos exerciam controles nas ocorrências de feições erosivas lineares. Nos trabalhos de Silva *et al* (2016) foi quantificada e qualificada a eficácia da proteção exercida pelo CIF para a preservação de mamíferos de grande porte. E, Pacheco *et al* (2018) estabeleceu a relação direta entre o uso militar e a proteção do bioma em relação as áreas de conservação do entorno.

A esta pesquisa foi imputada quantificar: O solo transportado pela erosão superficial em relação a sua gênese (material de origem autóctone ou alóctone); As médias anuais de chuva; O uso e manejo das terras na área de uso militar (CIF) e nas áreas agrícolas e urbanas do entorno desde o início da ocupação na década de 1970 até o presente.

O trabalho toma a hipótese de que a área militar além de proporcionar uma maior proteção do solo, ainda possui um manejo que promove a manutenção dos valores de escoamento superficial, de infiltração e de erosão é de fundamental importância na prevenção de desastres naturais, ambientais e sociais, nas práticas de conservação do solo e dos corpos hídricos, e no planejamento urbano e rural.

OBJETIVOS

GERAL

Objetiva-se identificar a evolução das áreas fontes de sedimentos e calcular a perda de solos na Bacia do Alto Rio Preto utilizando a EUPS, verificando a sua variação no período de 1970 a 2016, comparando a área de uso do Exército com as áreas agrícolas e urbanas subjacentes.

ESPECÍFICOS

- Calcular o potencial erosivo das chuvas em cinco décadas: 1970, 1980, 1990, 2000, 2010;
- Calcular a erodibilidade dos solos, levando em conta bases de dados já construídas para os solos profundos do bioma cerrado;
- Calcular o potencial natural de erosão com dados de erosividade, erodibilidade e topografia;
- Calcular a perda dos solos nas situações de uso dos solos nas décadas de 1970,

1980, 1990, 2000, 2010 a 2016.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Santos *et al* (2009), a capacidade das precipitações de desprenderem partículas ou agrupamentos de partículas depende da intensidade e frequência com que ocorrem, como também da energia cinética de impacto das gotas de chuvas sobre a superfície do solo. A cobertura vegetal dissipa a energia da chuva e protege a superfície do solo do selamento, aumentando a infiltração e diminuindo o escoamento superficial e a erosão hídrica, de forma que sem esta proteção o solo fica vulnerável e estes processos são potencializados (BERTOL, 1989).

Com a atividade antrópica, o processo de degradação do solo é intensificado ao longo do tempo, devido à ação de agentes químicos atrelados a água de chuva, irrigação, esgoto, efluentes de mineração e industrial, além dos insumos agrícolas. E, dependendo do tipo de solo, a ação dos agentes pode inibir ou, como ocorre na maioria das vezes, acelerar os processos erosivos (CARVALHO *et al*, 2001).

Assim, de acordo com Carvalho *et al* (2001), as chuvas ácidas podem em alguns solos, devido ao baixo pH, favorecer a floculação das partículas de argila e contribuir para a aumentar a resistência à erosão, mas para outros, este mesmo tipo de chuva fornecerá elementos propícios para que ocorra a destruição dos cimentos agregadores das partículas, acelerando o processo erosivo ou de “esqueletização”.

É possível observar uma inadequação do planejamento de uso e manejo do solo quando se analisam as taxas de degradação ambiental, principalmente quando feito em locais inadequados e sem elaboração do devido plano de manejo e recuperação (MAGALHÃES, 2001).

Segundo Magalhães (2001), a erosão subsuperficial ou subterrânea, por caminhos tubulares, também pode ocorrer, devido à existência de um gradiente hidráulico (diferença de nível), favorecida por perfurações abertas pelo sistema radicular de plantas, animais escavadores, movimento de dissecação do manto rochoso pelo intemperismo, deslizamentos nos depósitos colúvio-aluvionares de encostas ou nos saprolitos e fragmentos de rochas remanescentes na massa de solo residual. Sendo que a coesão e granulometria dos solos são fatores preponderantes para a evolução da erosão.

A voçoroca consiste no desenvolvimento de canais nos quais o fluxo superficial se

concentra, podendo ser dividida em ovóides, coalescentes e lineares, de forma que a primeira são as clássicas, apresentando configuração de um anfiteatro de paredes íngremes na parte superior e um canal estreito à jusante, já as coalescentes são constituídas por mais de um anfiteatro à montante, como resultado de reentrâncias nas paredes laterais, que evoluem de forma independente, e as formas lineares apresentam um grande desenvolvimento longitudinal, assemelhando-se a um cânion, mas terminando igualmente por um canal estreito (MAGALHÃES, 2001).

EROSÃO

A erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção de partículas; e outra que envolve o transporte deste material, efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, uma terceira fase acontece que é a deposição desse material transportado (GUERRA & CUNHA, 1994).

Nos trópicos a erosão pode ser classificada de acordo com o agente de transporte: eólica ou hídrica. No primeiro tipo, o principal responsável pelo desprendimento e condução das partículas do solo é a ação dos ventos que normalmente transportam partículas muito pequenas, apresentando depósitos bem selecionados, com sinal de abrasão das partículas devido ao atrito; já no segundo tipo, a força com que a água vai atuar sobre os sedimentos é muito variável, transportando partículas que podem apresentar tamanho milimétricos chegando até mesmo a blocos métricos. A gravidade pode auxiliar ambos os tipos de processos erosivos, atuando principalmente no desprendimento de grãos. No Brasil, indiscutivelmente, a erosão hídrica é mais importante (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; PARANÁ, 1989; PARKER *et al*, 1995), motivo pelo qual a presente abordagem será direcionada para essa forma de erosão.

Segundo Leinz e Leonardos (1971), o conceito do termo erosão é: “efeito combinado de todos os processos degradacionais terrestres, incluindo intemperismo, transporte, ação mecânica e química da água corrente, vento, gelo etc.” E no sentido estrito como – “corte gradativo das rochas sólidas pela ação dos rios, ventos, geleiras e mar”.

Guerra (1998) define erosão como destruição das saliências ou reentrâncias do relevo, tendendo ao nivelamento quando se trata de litorais, enseadas, baías e depressões. Na geomorfologia já se observa uma rejeição do sistema didático adotado, que separa o processo de erosão e sedimentação, pois, ambos são elementos integrantes do mesmo ciclo.

A DAEE/IPT (1989) diz que a erosão pode ser “normal” ou geológica, e que se desenvolve em condições de equilíbrio com a pedogênese, mas quando é acelerada pela ação antrópica, devido à ruína do equilíbrio das condições naturais, a intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural. A erosão consiste da ação de desprendimento e transporte das partículas do solo e rocha, ficando os solos agrícolas também sujeitos a estes processos, causando prejuízos algumas vezes irreversíveis.

Os processos erosivos também podem ser produto do arrebatamento de partículas por fluxos subsuperficiais ou, ainda, por agitações de massa mais complexas. A cobertura vegetal cumpre um papel protetor do solo, perpetrando com que a remoção de solo seja lenta, ficando compensada pelos métodos de formação do solo. Além disso, os vegetais obedecem aos elementos naturais de consolidação de encostas, promovida principalmente pela atuação das raízes. Solos expostos, onde se executou a remoção total da cobertura vegetal, são lugares de grande geração de absorções superficiais, uma vez que não são achados os elementos e mecanismos que resolvem a condição de impregnação da água para a subsuperfície (COELHO NETTO, 2003).

A erosão superficial é o principal estágio do processo erosivo, se intensificando conforme as ravinas são originadas, podendo culminar na concepção de voçorocas, compreendendo o estágio terminal do processo. Ela é responsável pela retirada das partículas viscosas e dos íons em solução, diminuindo seu potencial produtivo de biomassa. Segundo GUERRA (1998), conforme a precipitação extrapola a capacidade de penetração do solo, inicia-se o despejo superficial. A água acumula-se em depressões na superfície do solo (microtopografia), até que principia a descer a encosta, pelo meio de um lençol, podendo evoluir para uma ravina. Este fluxo sobrevém a ser linear, lançando microravinas e microravinas com cabeceiras. Ao próprio tempo em que esse progresso vai se colocando na superfície do terreno, pode acontecer também o alargamento de bifurcações, através dos pontos de quebra das ravinas.

A erosão em encostas é produto da energia potencial da chuva, em combinação com os elementos ambientais (solo, topografia, coberturas vegetais e práticas agrícolas). Em linhas gerais, os métodos erosivos podem ser considerados em dois tipos básicos: erosão natural (também chamada de erosão geológica); e erosão antecipada (FAO, 1967).

A erosão pode ser “natural” ou “geológica”, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo; e “acelerada” ou “antrópica”, cuja intensidade é superior à

da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural. A erosão acelerada pode ser de dois tipos: erosão laminar, ou em lençol, “quando causada por escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo”; e erosão linear, “quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno” na forma de sulcos, ravinas e boçorocas e solapamento de margens de canal.

Nos climas tropicais, a erosão aparente é responsável por quantidades significativas de perdas de solo. Tendo início com o impacto da gota de chuva sobre uma superfície desvalida de cobertura vegetal, acarretando na ruptura dos agregados, seguida pelo transporte dos fragmentos através do despejo superficial e a deposição nos campos mais baixos do relevo, tais como rios, lagos e reservatórios (SCHAWB apud Rego, 1978). Estas características de desagregação e transportabilidade das frações do solo, em geral, são em função do tamanho da fração do solo.

Devido às diferenças no grau de coesão das superfícies em que ocorrem os fluxos laminares, interravinares e ravinares, se faz necessário um entendimento de todas as condicionantes, como grau de declividade, tipo de contribuição (autóctone/alóctone) e presença ou não cobertura vegetal para um melhor entendimento da erosão hídrica. Esta separação promove o desenvolvimento de modelos fundamentais que proponham as perdas de solo e auxiliem no esboço de práticas de controle da erosão (BRAIDA & CASSOL, 1996). Nos métodos interravinares, o destacamento das frações do solo é quase que absolutamente realizado pelo impacto das gotas de chuva. O caminho superficial só é capaz de conduzir as partículas mínimas, mas o salpico pode arrastar fragmentos maiores, aumentando significativamente a capacidade de arrebatamento do fluxo (FOSTER, 1982; BRAIDA e CASSOL, 1996).

AMORIM *et al* (2001) se refere a essa configuração de erosão como sendo a erosão entre sulcos, diferindo-a da erosão em sulcos, que se diferencia pela constituição de pequenas irregularidades no significado da declividade do terreno, fazendo com que o declive superficial se agrupe nos pontos mais baixos, alcançando volume e velocidade suficientes para desenvolver canais mais ou menos profundos.

ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial ocorre durante um evento chuvoso, quando a capacidade de armazenamento de água no solo é saturada. O fluxo escoar sobre o solo se apresentando,

quase sempre, como uma massa de água com pequenos cursos anastomosados e, raramente, na forma de um lençol de água, no qual vários obstáculos (fragmentados rochosos e cobertura vegetal) atuam na diminuição da sua energia. A interação entre o fluxo de água e as gotas de chuva que incidem sobre ele, pode aumentar ainda mais sua energia (GUERRA & CUNHA, 1994).

Segundo Guerra e Cunha (1994), em áreas agrícolas, os processos de escoamento superficial podem ser mais acentuados, devido ao remanejamento de partes do subsolo para cima e vice-versa. Isso ocorre devido à mecanização das lavouras, o que pode causar diminuição da espessura do topo do solo, provocando o empobrecimento das terras agrícolas, com a diminuição do teor de matéria orgânica que no solo não só afeta sua fertilidade natural, mas também diminui sua resistência ao impacto das gotas de chuva, resultando, quase sempre, em aumento das taxas de escoamento superficial.

ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL

Tem-se dada ênfase nas pesquisas hidrológicas atuais, principalmente às questões sobre o movimento lateral de água, em subsuperfície, nas camadas superiores do solo. O escoamento subsuperficial, além de controlar o intemperismo, afeta diretamente a erodibilidade dos solos, através de suas propriedades hidráulicas, influenciando o transporte de minerais em solução. O escoamento subsuperficial, quando corre em fluxos concentrados, em túneis ou dutos possui efeitos erosivos, que são bem conhecidos, provocando o colapso da superfície situada acima, resultando na formação de voçorocas (GUERRA & CUNHA, 1994).

De acordo com Thornes (1980), a movimentação da água em subsuperfície ocorre como um resultado de diferentes potenciais de migração de líquidos, e essa água se movimenta através dos poros existentes no solo por capilaridade, envolvendo adesão e coesão.

PIPING

Os dutos (*pipes*) ou túneis, são canais abertos em subsuperfície, com diâmetros que variam de poucos centímetros até vários metros. O processo de formação desses dutos está relacionado ao próprio intemperismo, sob condições geoquímicas e hidráulicas especiais, provocando a dissolução e carreamento de minerais, em subsuperfície. Eles ocorrem em ambientes variados, e em climas semiáridos à temperados (STOCKING, 1977; KNAPP,

1978; THORNES, 1980; MORGAN, 1986; GUERRA E ALMEIDA, 1993).

A produção e o transporte de sedimentos, ao longo dos dutos, é uma característica diagnóstica, que pode ser confirmado com a detecção de leques aluviais que se formam na saída desses dutos. As taxas de produção de sedimentos estão relacionadas ao fluxo de água dentro dos dutos e representam uma função direta desses fluxos. Os elevados índices de umidade em subsuperfície necessários para a formação dos dutos, são resultantes da prolongada infiltração da água nos solos (GUERRA & CUNHA, 1994).

SPLASH E FORMAÇÃO DE CROSTAS

A erosão por *splash*, também conhecida no Brasil como erosão por salpicamento, ocorre, basicamente, como um resultado das forças causadas pelo impacto das gotas de chuva. Uma gota de chuva, quando incide sobre um solo molhado, remove partículas que estão envolvidas por uma película de água. A gota descreve uma curva parabólica, que se move lateralmente, mais ou menos quatro vezes à altura do deslocamento. O *splash* ocorre tanto para baixo como para cima em uma encosta, mas quase sempre as partículas são transportadas para baixo três vezes mais distante do que para cima (GUERRA e CUNHA, 1994).

A erosão por *splash* pode diminuir em um determinado tipo de solo, especialmente se o próprio *splash* formar crostas na superfície, diminuindo a ação erosiva das gotas de chuva, que encontrarão uma superfície mais resistente à energia cinética da precipitação. Entretanto, nesses casos, há tendência de aumento do escoamento superficial. De acordo com Farres (1978), a formação de crostas é um dos mecanismos mais importante que ocorrem na superfície do solo antes de acontecer o escoamento superficial.

INFILTRAÇÃO, ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DE RUNOFF

O ciclo hidrológico é o ponto de partida do processo erosivo. A ação das gotas de chuva diretamente, ou por meio do gotejamento das folhas, causa a erosão por salpicamento (*splash*). Durante um evento chuvoso, parte da água cai diretamente no solo, ou porque não existe vegetação, ou porque a água passa pelos espaços existentes na cobertura vegetal. Parte da água da chuva é interceptada pela copa das árvores, sendo que parte dessa água interceptada volta à atmosfera, por evaporação, e outra parte chega ao solo, ou por gotejamento das folhas, ou escoamento pelo tronco (GUERRA & CUNHA, 1994).

Guerra e Cunha (1994), explicam que de acordo com Horton (1945) se a intensidade da chuva for menor do que a capacidade de infiltração do solo, não haverá runoff. Mas, se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração, ocorrerá runoff ou fluxo hortoniano.

O processo erosivo depende de uma série de fatores controladores: erosividade da chuva; propriedades do solo; cobertura vegetal; características das encostas, dentre outros. De acordo com estes fatores, os mecanismos de infiltração de água no solo poderão ser mais ou menos eficiente, culminando no armazenamento ou escoamento em subsuperfície e superfície. Em paralelo a esses processos, as gotas de chuva podem formar crostas na superfície dos solos, o que vai acelerar os processos de escoamento superficial, afetando igualmente as taxas de erosão. Esses processos se distribuem ao longo do tempo e do espaço GUERRA e CUNHA (1994).

TIPOS DE EROSÃO:

EROSÃO EM LENÇOL OU SUPERFICIAL

A erosão em lençol é também conhecida por erosão laminar. Ela recebe esse nome, porque o escoamento superficial que dá origem a esse tipo de erosão, se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais. O lençol de água que cobre a superfície do solo durante uma tempestade raramente se apresenta com profundidade uniforme e, em geral, ocorre de maneira anastomosada, sem canais definidos. Essa forma de escoamento ocorre, quase sempre, sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de armazenamento de água no solo e nas suas depressões e irregularidades satura. Dessa forma, a capacidade de infiltração é excedida, e começa a ocorrer o escoamento. O fluxo de água que provoca a erosão em lençol, pode ser interrompido por blocos rochosos existentes no solo ou pela cobertura vegetal, fazendo com que o fluxo de água contorne essas irregularidades (GUERRA & CUNHA, 1994).

A erosão laminar pode ser definida como a remoção de uma fina camada de solo relativamente uniforme pela chuva, e escorrência superficial generalizada não canalizada. Este tipo de processo erosivo geralmente não deixa traços visíveis e pode continuar sua ação durante anos, não sendo perceptível na paisagem, mas causando o empobrecimento ou o assoreamento do solo em áreas à jusante. Suas consequências são vistas mais nas zonas rurais, pois além de levar extensa parte dos nutrientes, desestabiliza as plantações atingindo a cobertura de suas raízes (CARVALHO *et al*, 2001).

Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de acarretarem no empobrecimento gradativo dos solos agrícolas, geram também o assoreamento e a poluição dos mananciais. Com isso, a erosão hídrica tem sido uma das principais causas de redução da produtividade das terras agrícolas, podendo, inclusive, resultar no abandono de áreas anteriormente produtivas. Além disso, acarreta na elevação do custo de produção, uma vez que aumenta a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes, e reduz a capacidade operacional das máquinas agrícolas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; PARANÁ, 1989; PARKER et al, 1995).

Segundo Carvalho *et al* (2001), a erosão superficial provocada pela água de chuva, associada ou não aos processos de erosão interna e esqueletização, tem início com a erosão laminar, podendo em seguida e em ordem cronológica passar pelas fases de formação de sulcos e ravinas, evoluindo para voçorocas. Neste tipo de erosão estão implicados os agentes erosivos, que correspondem à ação das gotas de chuva, do escoamento superficial e de fluido agressivos. Ainda segundo Carvalho *et al* (2001), erosão em sulcos é um processo de erosão em campos inclinados onde numerosos canais aleatórios se formam com apenas alguns centímetros de profundidade, ocorrendo principalmente em solos de cultivo recente.

Um dos objetivos do estudo da erosão dos solos é o de se conhecer o comportamento dos fatores controladores, bem como os processos erosivos básicos e a ação da água nas diversas formas erosivas. Tudo isso pode levar à adoção de estratégias de conservação dos solos, de forma a reduzir a erosão a níveis aceitáveis (GUERRA & CUNHA, 1994).

EROSÃO EM RAVINAS

As ravinas são formadas quando a velocidade do fluxo de água aumenta na encosta, provavelmente para velocidades superiores a 30cm/s (Ellison, 1947), tornando o fluxo turbulento. O aumento no gradiente hidráulico pode ocorrer por uma série de motivos: aumento da intensidade da chuva; aumento do gradiente da encosta; ou, ainda, porque a capacidade de armazenamento de água, na superfície, é excedida, e aí a incisão começa a acontecer no topo do solo (GUERRA & CUNHA, 1994).

Estudos executados em estações experimentais em várias partes do mundo, têm demonstrado a importância de se conhecer bem a dinâmica de formação das ravinas e sua capacidade de transporte de material. São poucos os dados referentes a esses estudos no

Brasil, pois ainda estão sendo implantadas estações experimentais, em vários pontos do território nacional. Nos estados Unidos, onde essas estações já vêm sendo monitoradas há várias décadas, Mutchler e Young (1975) mostraram que, em parcelas de 4,5m de comprimento, mais de 80% dos sedimentos são transportados nas ravinas. Parte desse material deriva-se das áreas situadas entre as ravinas (*interrill áreas*) e é transportada para dentro das ravinas, pelo escoamento superficial e pelo *splash*. Segundo Foster e Meyer (1975), o material oriundo das áreas entre as ravinas pode representar até 87% da carga total transportada por uma ravina (ALVES, 2007).

Ravinamento corresponde ao canal de escoamento pluviométrico concentrado, apresentando feições erosionais com traçado bem definido. A cada ano o canal se aprofunda devido à erosão das enxurradas podendo atingir até alguns metros de profundidade (MAGALHÃES, 2001).

EROSÃO EM VOÇOROCAS

As voçorocas são feições erosivas relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo achatado, de forma que ocorre fluxo de água no seu interior, durante as chuvas. Algumas vezes, as voçorocas se aprofundam tanto, que chegam a atingir o lençol freático. Comparado aos canais fluviais, as voçorocas apresentam maior profundidade e menor largura em uma situação normal. Elas estão associadas com processos de erosão acelerada e com a instabilidade da paisagem (GUERRA & CUNHA, 1994).

Para Guerra (1994), algumas voçorocas têm sua origem na erosão causada pelo escoamento subsuperficial. Berry e Ruxton (1960), pesquisaram a origem de voçorocas em Hong-Kong e descobriram que essas formas erosivas sucederam a retirada da cobertura vegetal. A maior parte da água era transportada pelo escoamento subsuperficial, em dutos, e, quando chuvas pesadas provocavam fluxos de água, em subsuperfície, havia a remoção de grandes quantidades de sedimentos, aumentando o diâmetro desses dutos e fazendo com que houvesse o colapso do material situado acima, dando origem ao surgimento de voçorocas. Guerra e Almeida (1993) também observaram o surgimento de voçorocas, no município de Sorriso, em Mato Grosso, resultantes do escoamento subsuperficial. Essa região possui chuvas concentradas no verão, podendo chegar a mais de 120mm, em 24 horas. Na área urbana deste município foi monitorada uma voçoroca que surgiu apenas cinco anos após a retirada da vegetação de Cerrado para dar lugar à construção de ruas e casas. Essa é uma

voçoroca típica, resultante do escoamento subsuperficial (GUERRA, 1994).

A voçoroca consiste no desenvolvimento de canais nos quais o fluxo superficial se concentra. Forma-se devido à variação da resistência à erosão, que em geral é devida a pequenas mudanças na elevação ou declividade dos terrenos. Esse é o estágio mais avançado de erosão acelerada correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de surgências d'água. (MAGALHÃES, 2001).

Os terrenos mais favoráveis à erosão, são os arenosos, se destacando os de granulação fina, secos, ácidos, pouco coesivos, coluviais e porosos. Em semelhança à topografia, a ocorrência da erosão hídrica pode se exibir em terrenos levemente ondulados quanto em solos acidentados, pois a forma e o comprimento da vertente implicam muito na velocidade de formação e desenvolvimento (MAGALHÃES, 2001).

Além disso, fatores físicos como: capacidade de erosividade do agente, erodibilidade do solo, declive e comprimento das encostas, uso do solo e cobertura vegetal, podem acelerar a ocorrência da erosão hídrica (LIMA, 2010). A esqueletização (ROOSE, 1977) também brota em consequência deste processo ou por meio da solução de componentes minerais, abrindo um aumento da porosidade do solo (FERREIRA et al, 2008).

EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO - EUPS

A EUPS é a fórmula mais usual para o cálculo de erosão em termos anuais, porem se faz necessário uma boa compreensão de seus parâmetros para se chegar a uma melhor aproximação dos processos de erosão hídrica. Além disso, diversos parâmetros da EUPS são importados em diversos modelos dinâmicos, tais como: RUSLE, SWAT, WaTEM/SEDEM, USPED entre outros. Os dados de abertura do modelo são compostos por fatores correspondentes (erosividade - R; erodibilidade - K; comprimento de rampa - L; e declividade - S) e antrópicos (uso e manejo do solo - C; e práticas conservacionistas - P). O Índice de Erosividade da chuva (EI_{30}) é calculado para cada chuva individual e para as chuvas classificadas como erosivas (SERIO *et al*, 2008).

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou como é conhecida internacionalmente (USLE), é um exemplo empírico para medir a perda média anual de solo por erosão laminar e analisar fatores adequados e antrópicos, os quais podem ser aliados e simulados a partir das geotecnologias (RUTHES et al, 2016).

A Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), é amplamente utilizada e se aplica também para condições nos trópicos. Sua

razoável exatidão na estimativa da perda de solo anual em vertentes, bem como sua simplicidade de aplicação e disponibilidade de dados, permite uma aplicação praticamente universal (TÁNAGO, 1991; CHAVES, 1996).

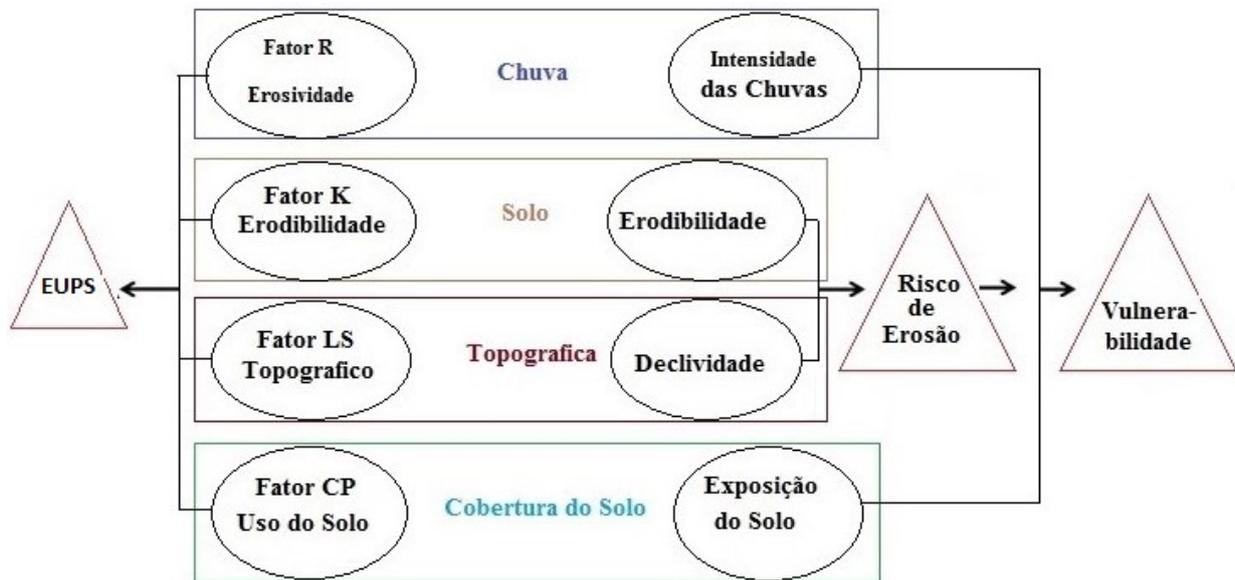


Figura 1. Fluxograma dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo e do Mapa de Vulnerabilidade (Elaborado pelo autor)

Apesar de sua relativa robustez preditiva, a EUPS é muitas vezes mal utilizada nos trópicos, gerando previsões incorretas. Os problemas mais frequentes decorrem: da aplicação da equação em situações em que os fatores não podem ser determinados de forma segura, como por exemplo sua aplicação em bacias complexas, usando valores médios de L e S, utilização indiscriminada dos fatores C e P, sem considerar os limites de comprimento de rampa, e da utilização da equação em situações em que há voçorocas e deposição de sedimentos (WISCHMEIER, 1976, *apud* CHAVES, 2010).

C – fator de uso e manejo do solo, determinado a partir do grau de cobertura do solo por resíduos e por plantas, sendo dependente do estágio de desenvolvimento das culturas. Este parâmetro é o mais difícil de ser determinado, pois requer também a realização de experimentos em campo.

Para a obtenção deste parâmetro, que possui como valor máximo 1 para solo exposto, utilizaram-se valores médios calculados para outras bacias, citados por Brito *et al* (1998) e Bertoni & Lombardi Neto (1990). Esses autores determinaram, com base em dados experimentais, valores de perdas de solo por erosão laminar em função dos diferentes fatores de uso e manejo do solo, conforme adaptação feita por Lemos & Ferreira (2003); Domingos (2006) & Donzelli *et al* (1992) Apud Junior (1997).

P – fator relativo ao uso de práticas conservacionistas. Autores como Stein, *et al.* (1987) tem trabalhado com índices de valor CP de forma conjunta.

Segundo Vieira (2008), o desenvolvimento de equações, que antecedam as avarias de solo, começou na década de 1940. A EUPS foi desenvolvida para definir perdas do solo por erosão laminar e em sulco em pequenas propriedades agrícolas, para grandes períodos, independentemente de ter ou não uma qualificação correta. Ficou assim destacada para se distinguir das equações que miram prever perdas de solo em regiões pré-estabelecidas.

Nos estudos de Chaves (2010), ele afirma que em termos de bases médias anuais, a eficiência preditiva da EUPS para erosão em vertentes, dada pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe (1970), varia de 0,75% (Risse *et al.*, 1993) a 0,80% (TIWARI *et al.*, 2000), superiores inclusive à de modelos mais complexos, como a RUSLE (RENARD & FERREIRA, 1993) e WEPP (LANE & NEARING, 1989).

A estimativa da variabilidade espacial dos fatores da EUPS e seu impacto na incerteza da predição de perdas de solo foram examinados por vários autores segundo Rogowski *et al.* (1985) que concluíram que o coeficiente de variação dos fatores K, L e S em uma vertente dos EUA foi de 6, 12 e 19 %, respectivamente. Entretanto, o coeficiente de variação das perdas de solo foi de 57%, indicando significativa propagação de incerteza na equação. Esses autores avaliaram a estrutura espacial da variância dos fatores da EUPS, obtendo um alcance geoestatístico (*range*) de 800 m para L, de 500 m para S, de 400 m para K e de 400 m para as perdas de solo (A), indicando que a variabilidade espacial em áreas maiores que 50 Ha poderia ser tratada pela estatística tradicional (CHAVES, 2010).

A perda de solo calculada pela EUPS é tratada como variável aleatória, assim como a tolerância à erosão, que é o limite máximo em que um solo pode ser erodido sem haver degradação permanente, com valores esperados e desvios padrão. Esse fato tem importantes consequências agronômicas, ambientais e políticas, requerendo a incorporação das incertezas no processo de planejamento conservacionista (CHAVES, 2010).

A aplicação da EUPS em escalas regionais é correta para estudos qualitativos sobre erosão hídrica laminar, equipando uma estimativa da espacialização de áreas com máxima ou mínima susceptibilidade erosiva. Deste jeito, a EUPS é largamente empregada na assimilação de áreas potencialmente erosivas, em uma acometida qualitativa, com o intento de subsidiar o planejamento ambiental (BORGES, 2009).

FATOR R

O fator erosividade (R) é o índice de erosão pelas chuvas, que expressa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido, WISCHMEIER (1959). Esse parâmetro representa numericamente a força da chuva e do escoamento. É constituído por valores EI₃₀ de cada evento de chuva de uma região, sendo que o somatório destes determina o valor R (MARQUES et al, 1997).

Somando-se a energia cinética de todos os segmentos uniformes de chuva, obtém-se a Energia Cinética Total da chuva (ECT). O EI₃₀ é obtido pelo produto entre a intensidade máxima de precipitação em 30 minutos (I₃₀) e a ECT. Somando-se os índices EI₃₀ de todas as chuvas individuais e chuvas erosivas de cada mês, é obtida a erosividade mensal das chuvas e a partir da soma dos valores mensais obtém-se a erosividade anual. Esta erosividade anual corresponde ao valor utilizado no Fator R da EUPS (MAZURANA et al, 2008).

FATOR LS

Com relação ao efeito da escala do mapa nas estimativas de perdas de solo calculadas com a EUPS, Wu *et al* (2005) concluíram que o fator LS e as perdas de solo (A) diminuem exponencialmente com o aumento do tamanho da célula do mapa, indicando que as predições são fortemente dependentes da escala de trabalho utilizada (CHAVES, 2010).

Maciel (2000) cita que nos trabalhos de Rufino (1986), é utilizado o índice EI₃₀ proposto por WISCHMEIER (1959), para traçar um mapa de isoerodentes para o estado do Paraná, sendo que os índices variaram de 537 a 1280 tm.mm.ha⁻¹ ano⁻¹. RUFINO *et al* (1993), também comenta que a estimativa do fator R da equação universal de perdas de solo atende aos interesses da conservação de solo e a outros modelos de predição de perdas de solo para o planejamento conservacionista.

Segundo Maciel (2000), a intensidade de erosão pelas águas é afetada tanto pelo comprimento do declive como pelo seu gradiente. Sendo que estes dois efeitos têm sido avaliados separadamente nas pesquisas e são representados na equação por L e S. Em aplicação a campo é mais conveniente considerar-se conjuntamente LS como fator topográfico. Foster e Wischmeier (1974) desenvolveram uma equação para o cálculo do valor de LS da EUPS em rampas irregulares. Esta equação permite o seccionamento da rampa em diversos segmentos, conforme o número de inflexões do gradiente de declividade que a rampa apresentar.

Rocha *et al* (1995) desenvolveram uma metodologia para obtenção de um mapa de

comprimento de rampa (L) em um ambiente SIG, a partir de uma combinação entre o mapa de aspecto do terreno, o MDE - Modelo Digital de Elevação e o mapa de declividades. O resultado é um mapa com polígonos representando rampas, onde os valores de pixel de cada polígono significam o comprimento de rampa (L) (VALERIANO, 2002).

Segundo Maciel (2000) em áreas terraceadas, o comprimento do declive utilizado na determinação do valor LS na equação, é o intervalo do terraço. O valor P deverá ser o mesmo do plantio em contorno, uma vez que, reduzindo o comprimento de declive, reduzem-se as perdas de solo pela raiz quadrada do comprimento.

FATOR K

O fator K é relativo ao potencial de erodibilidade dos solos (WISCHMEIER & SMITH, 1978), cujos valores de K foram estimados através de nomogramas, considerando a porcentagem de silte e areia muito fina, porcentagem de areia e porcentagem de matéria orgânica, relações da estrutura do solo e sua permeabilidade. Nos trabalhos de ANGULO (1983), na determinação do fator K através de método direto com gotejamento sobre os agregados dos solos, os valores obtidos variaram de 0,08 a 0,44 para os latossolos e 0,9 a 0,26 para os solos podzólicos (MARQUES et al, 1997).

Wischmeier e Smith (1978) adotaram padronizar as parcelas para o fator de erodibilidade do solo (K). Tais parcelas deveriam ter ao redor de 22m de comprimento, 9% de declive e mantida continuamente descoberta, sendo preparada no sentido do declive, e prevenida contra o encrostamento superficial. Nestas condições, os fatores L, S, C e P são iguais a 1,0 e $K = A/EI$. Com esta determinação foram obtendo o fator K indiretamente.

A erodibilidade é uma característica do solo, que representa o resultado integrado dos artificios que regulam a penetração de água e a resistência do solo à desagregação e a condução de fragmentos, ou seja, a susceptibilidade ou predisposição do terreno à erosão (CASSOL; LIMA, 2003; CORRECHEL, 2003; MANNIGEL *et al*, 2002; SILVA *et al*, 2000; VITTE & MELLO, 2007). Para Vitte e Mello (2007), as características do solo (distribuição e volume das frações, estabilidade estrutural, teor de matéria orgânica, classe dos minérios de argila e constituintes químicos) influenciam esses processos.

As medidas obtidas experimentalmente foram alcançadas depois de muitos anos de determinações, torna tornando possível a estimativa da erodibilidade do solo para outros meios. MIDDLETON (1930), citado por LOMBARDI NETO e BERTONI (1975), foi o pioneiro na avaliação desse parâmetro, introduzindo a razão de dispersão (razão entre teor de

silte e argila dispersa e teor de silte e argila em amostra não dispersa). LOMBARDI NETO e BERTONI (1975) modificaram o método de MIDDLETON (1930), e através de análise de regressão da razão entre o "teor de argila natural/teor de argila dispersa" x "argila dispersa/umidade equivalente", observaram que os solos do estado de São Paulo, com horizontes B textural apresentaram valores mais elevados de erodibilidade que os solos com horizontes B latossólico. Este fenômeno ocorre tanto nos horizontes superficiais como nos subsuperficiais.

Chaves (2010) cita que no estudo de Wang *et al* (2001) foi examinada a variabilidade espacial da erodibilidade de 23 (vinte e três) solos americanos, obtida a partir de suas propriedades físico-químicas, e encontraram um coeficiente de variação de 27,5% para K. No que diz respeito à variabilidade espacial da cobertura do solo e da biomassa vegetal, correlacionadas ao fator C da EUPS, o alcance geoestatístico¹ pode variar de 10m (Reichert *et al.*, 2008) a 150 m (Jaynes & Colvin, 1997).

Para Marques (1997) o fator de erodibilidade do solo (K) é concebido pela relação dentre erosividade da chuva e a perda de solo, porque tais dados são obtidos particularmente para cada chuva. Na análise de erosão este fator tem despertado máximo empenho, uma vez que é governado pelos predicados intrínsecos do solo, os quais podem ser alterado de acordo com a categoria de solo e com o tipo de manejo agregado (SILVA *et al*, 2000).

A erodibilidade do solo pode ser ocasionada por fatores diretos ou indiretos. Os processos diretos envolvem deliberações em campo da quantificação do fator K em pretexto das perdas de solo e do fator de erosividade, sobre chuva natural ou simulada. Em geral esses artificios demandam gastos e tempo excessivo, porém são considerados padrões. O processo indireto baseia-se em cálculos que levam em importância variáveis independentes como propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos. É um artifício mais rápido, porém, a maioria das equações precisa ser concertada para as condições de solos tropicais (BARSÍ; OLIVEIRA; ROMÃO 1999; CORRECHEL, 2003; MANNIGEL *et al*, 2002; SILVA *et al*, 1999; SILVA *et al*, 2000; VITTE; MELLO, 2007).

Todos os parâmetros do solo que cobrem sua estrutura, a hidratação e as propriedades de circulação de água influenciam na erodibilidade do solo. Entretanto, Figueiredo *et al* (2009), Santos *et al* (2009), como também Vitte e Mello (2007) concordam

¹ Geoestatística é uma ferramenta que utiliza o conceito de variáveis regionalizadas na avaliação de variabilidade espacial por meio da extração e organização espacial dos dados disponíveis de acordo com a semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados.

que essas características do solo são características dinâmicas que podem ser transformadas de acordo com os distintos usos e manejos do solo, transformando a erodibilidade ao longo do tempo.

FATORES C P

O fator C da EUPS é definido como a razão entre as perdas de solo de uma parcela, cultivada sob condições específicas de manejo, e as correspondentes a uma parcela mantida continuamente limpa e preparada para plantio (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Devido às diversas interações das variáveis uso e manejo, estes elementos são avaliados conjuntamente na EUPS. O fator C envolve também o manejo, que inclui combinações de cobertura vegetal, sequência de cultivos e estágio fenológico (BERTONI & LOMBARDI, 1985). O fator C abrange valores entre 0 e 1, cujo os maiores valores são para as culturas que protegem menos, enquanto as plantas que oferecem maior proteção ao solo possuem valores menores, criando menor probabilidade de perdas de solos por erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978; DONZELLI *et al* 1992).

O fator P é definido como a razão entre a quantidade de solo perdido, verificada com uma prática conservacionista específica, e as correspondentes obtidas quando se cultiva na direção do pendente (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Este fator corresponde as práticas de conservação da erosão na proteção do solo. Conforme BERTONI e LOMBARDI (1985), BERTONI *et al* (1975) e WISCHMEIER & SMITH (1978), os intervalos de P podem assumir valores entre 0,1 e 0,5 com a adoção de plantio em contorno.

O bioma Cerrado, apesar de ser o segundo maior bioma do Brasil, de acordo com DRUMMOND *et al* (2006), tem mais da metade de sua área decomposta em pastaria, áreas agrônômicas e outras maneiras, nos últimos 35 anos. Restam no bioma somente 44,5% de áreas ainda naturais, significando que os outros 54,5% destinam-se à pecuária (41,4%), agricultura (11%), áreas urbanas (1,9%), florestas plantadas (0,07%) e outros usos (0,6%). Ou seja, mais de 880.000 km² já foram transformados pelos seres humanos, correspondendo a uma extensão três vezes maior do que a área desmatada na região Amazônica (ICMBio, 2012).

A ampliação e a modernização da lavoura no Cerrado têm gerado saldos positivos para a economia brasileira, com amplo retorno econômico, de maneira especial em função da tecnologia empregada em amplas plantações. No entanto, a alteração antrópica do Cerrado,

que leva à alteração de largas áreas nativas em plantio de grãos, tem o potencial de produzir perdas significativas de biodiversidade, notadamente em vista dos entraves das áreas protegidas neste bioma; pequenas em cifra e concentradas em precárias regiões (ICMBio, 2012).

Segundo ICMBio (2012), o Cerrado oferece grande riqueza de espécies, e já foi considerado erradamente a mais abastada savana tropical do mundo, pois hoje não se classifica mais o cerrado como um tipo de savana. Com a finalidade de sistematizar e tornar evidente os principais números das unidades de conservação no Brasil, a Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação) prevê em seu artigo 50, o CNUC (Cadastro Nacional de Unidades de Conservação), que é disposto e mantido pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) com a adesão de demais órgãos ambientais nos três campos administrativos, o que gerou o registro de 1.649 conexões disseminadas em todos os biomas brasileiros. Desse total, 886 permanecem sob a gestão federal, 658 sob a gestão estadual e 105 sob gestão municipal. As unidades de conservação federais abrangem, aproximadamente, 8,87% do território nacional, sendo 747 pertencentes às categorias de Uso Sustentável (equivalente a 4,61% do território brasileiro) e 139 às de Proteção Integral (que corresponde aos outros 4,26%) (ICMBio, 2012).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

ÁREA DE TRABALHO

De acordo com Carneiro *et al* (2007), a bacia hidrográfica do Rio Preto ocupa uma área de 1.045.900 hectares em toda sua extensão territorial, abrangendo os estados de Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal, fazendo parte da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. O Rio Preto tem as suas nascentes no município de Formosa-GO, e deságua no rio Paracatu, em Minas Gerais. A bacia do alto Rio Preto faz parte da bacia do Rio Paracatu, importante afluente do Rio São Francisco. Sua área total de drenagem é de aproximadamente 318.459 ha, como pode ser observado na figura 2.

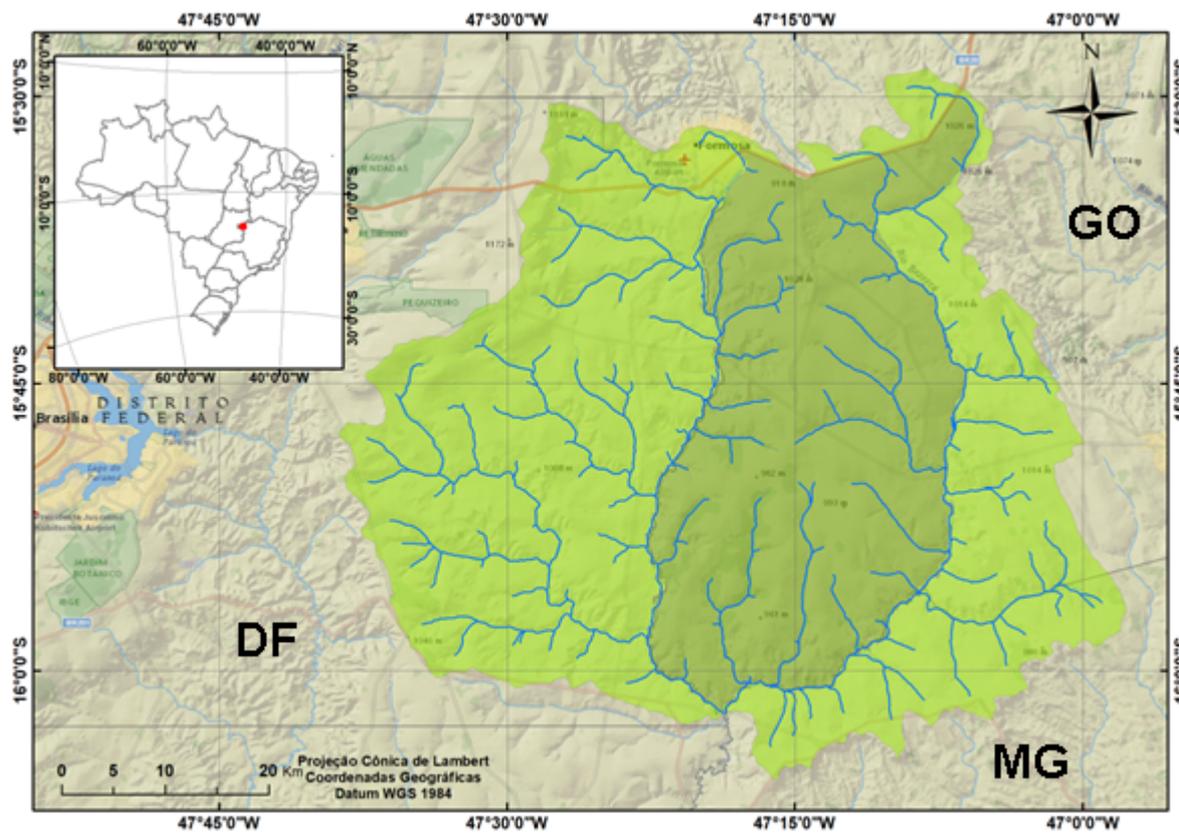


Figura 2. Localização da área de estudo. Escala federal, estadual e municipal. A bacia abrange os estados de GO, DF e MG. A divisão entre os estados de GO e DF, dentro da bacia, é o próprio Rio Preto. Elaborado pelo Autor (2018).

Clima

De acordo com Santos (2005), a região possui um clima quente, tropical, que varia de úmido a subúmido, segundo a classificação de Köppen. A principal característica deste clima são as duas estações, seca e chuvosa, bem delimitadas. Os índices pluviométricos variam entre 1.500 mm a 1.750 mm anuais, com média de 1.600 mm. Os maiores índices de pluviosidade estão entre os meses de novembro a fevereiro, em que se observa um excedente anual de cerca de 500 mm. Já nos meses mais secos, o balanço hídrico aponta um déficit anual de cerca de 300 mm. A umidade relativa do ar estabelece uma média anual de 65%. No entanto, acompanha o regime de chuvas, atingindo, nos meses mais chuvosos, uma média de 76%, e, no período seco (maio a setembro), uma média de 54%. (SANTOS, 2005).

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de 1961 a 1967 e também partir de 1974, a menor temperatura registrada na microrregião da bacia ao Alto

Rio Preto, que engloba o município de Formosa foi de 3,9 °C em 18 de julho de 1975, e a maior atingiu 39 °C em 30 de novembro de 1961. O maior acumulado de precipitação em 24 horas foi de 124,6 mm em 1° de fevereiro de 1992. Outros grandes acumulados foram 110,3 mm em 17 de dezembro de 2008, 108,6 mm em 18 de novembro de 2012, 105,8 mm em 24 de dezembro de 1985, 105,6 mm em 2 de dezembro de 2004, 101 mm em 24 de novembro de 1978 e 27 de novembro de 2011.^[1] O menor índice de umidade relativa do ar foi de 12% em setembro de 2011, nos dias 6, 11 e 22 daquele mês.

Segundo dados do mesmo instituto (INMET), de 1985 a 2015 a precipitação média anual ficou em 1.384 mm. A temperatura do mês mais frio registrou 20,4 °C em média no período, e a temperatura média anual foi de 22,6 °C.

Vegetação

Seis grandes biomas abrangem o território nacional: o Cerrado, os Campos e Florestas Meridionais, a Floresta Atlântica, a Caatinga, a Floresta Amazônica e o Pantanal. A localização destes biomas é condicionada pelos fatores climáticos, como a temperatura, a pluviosidade e a umidade relativa, e em menor escala pelo tipo de substrato (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Segundo RIBEIRO e WALTER (1998), o Cerrado está localizado basicamente no Planalto Central do Brasil e é o segundo maior bioma do país em área, superado apenas pela Floresta Amazônica. Este complexo sistema vegetacional, possui relações ecológicas e fisionômicas com algumas savanas da América tropical e de continentes como África e Austrália. O Cerrado corresponde às Oreades² no Sistema de Martius, e ocupa mais de 2 000 000 km², o que representa cerca de 23% do território brasileiro. Ocorre em altitudes que variam de cerca de 300 m, a exemplo da Baixada Cuiabana (MT), a mais de 1600 m, na Chapada dos Veadeiros (GO). Destacam-se pela sua extensão os cerrados que marcam a vegetação regional da bacia do alto Rio Preto. Além dos cerrados há uma pequena mata no Vale do Paranã.

Geologia Regional e Estrutural

A bacia hidrográfica do alto Rio Preto diz respeito à região Leste da Faixa de Dobramento Brasília - FDB, inserida na Província Tocantins, composta por vários e importantes sistemas de falhas de empurrões e cavalgamentos, cujo grau de metamorfismo é

² **Oreades** é a denominação da região fitogeográfica que compreende o cerrado brasileiro.

crescente de Leste a Oeste (DARDENNE, 1978; SILVA, 2006).

Em termos de geologia a bacia hidrográfica do alto Rio Preto é representada por exibição local de metagranitóide de arranjo tonalítica a granodiorítica, de granulação mediana a grossa e com restrita orientação mineralógica. A idade geocronológica apontou cerca de 2,4 G.a. atribuindo a essas rochas período Paleoproterozóica. É provável que essa ocorrência se trate de um alto topográfico paleomórfico do embasamento. As exibições acontecem como matacões arredondados de cor cinza esverdeada. São achados veios de quartzo cristalino e leitoso, segundo EMPRAPA (2006).

Situada na porção oeste da área, forma serras e vales encaixados. Durante a Orogênese Brasileira, ocorrida no Neoproterozóico (600 M.a.), os depósitos terrígenos e carbonáticos do Grupo Canastra ficaram metamorfisados na fácies xisto verde baixo e empurrado, no sentido leste, sobre unidades dos grupos Paranoá, Vazante e Bambuí. Na Bacia do Rio Preto, esses empurrões são bem evidentes. Os acontecimentos do Grupo Canastra são limitadas, ficando cominada com algum grau de precariedade ao Membro Serra da Anta, topo da Formação Paracatu, segundo EMBRAPA (2006).

Os minerais do Grupo Paranoá se localizam dispostos estruturalmente em domos (domo de Brasília, Pípiripau e Sobradinho), decompondo os relevos mais altivos da região do Distrito Federal e entorno. Neste significado, no limite noroeste da bacia do alto Rio Preto, em sua amostra de maior altitude, o grupo apresenta-se correlacionado às chapadas de Pípiripau, proveniente de dobra anticlinal recumbente de metamorfismo de baixo grau (CAMPOS *et al*, 2006). Atravancando a porção centro-oeste da Bacia do Rio Preto, o Grupo Vazante, de idade Meso/Neoproterozóica, encontra-se tectonicamente aquém do Grupo Canastra, em decorrência de uma falha de empurrão causada durante a Orogênese Brasileira.

O Grupo Bambuí é o de maior abrangência na área de estudo, sustentando os solos mais superficiais e dissecados, agregados à bacia cratônica do São Francisco, como já exposto anteriormente. Apesar de ser um grupo conhecido desde o início do Século XIX, seu esboço sistemático, incluindo subdivisões litoestratigráficas, foi sugerido na década de 1960 por Costa e Branco (1961). A “seção tipo” deliberada pelo agente se dá ao longo da BR-040, desde Belo Horizonte, em Minas Gerais, até a região de Brasília no Distrito Federal. Foi sugerida a subdivisão da “série Bambuí” nas concepções Carrancas (unidade basal), Sete Lagoas (unidade intermediária) e Rio Paraopeba (unidade superior), esta, por sua ocasião, subdividida em Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Três Marias e Serra da

Saúde. Até o presente, a despeito de certa discussão em pequenas adulterações, é a subdivisão mais aceita (MARTINS-NETO e ALKMIN, 2001).

Pedologia

O tipo de solo associado à declividade, à precipitação e ao uso e emprego da bacia, constitui os controles fundamentais da recarga natural, sendo os atributos anatômicos do solo os principais fatores controladores. A composição, a textura, a granulometria e a condutividade hidráulica são atributos que devem ser analisados em solos, para a demarcação das funções recarga, filtro e estoque de água. Coberturas pedológicas podem abrigar importantes aquíferos porosos, que podem ser explorados pela edificação de poços escavados, o que é prática corriqueira no meio rural (EMBRAPA, 2006).

Na bacia do alto rio Preto os solos se distribuem da seguinte maneira: Cambissolo (CX), 77.413 ha ou 23% da área da bacia; Gleissolo (G), 2.781 ha ou 1% da área da bacia; Latossolo Vermelho (LV), 107.674 ha ou 34% da área da bacia; Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), 111.194 ha ou 35% da área da bacia e Neossolos Quartzarênicos (RQ), 21.143 ha ou 7% da área da bacia.

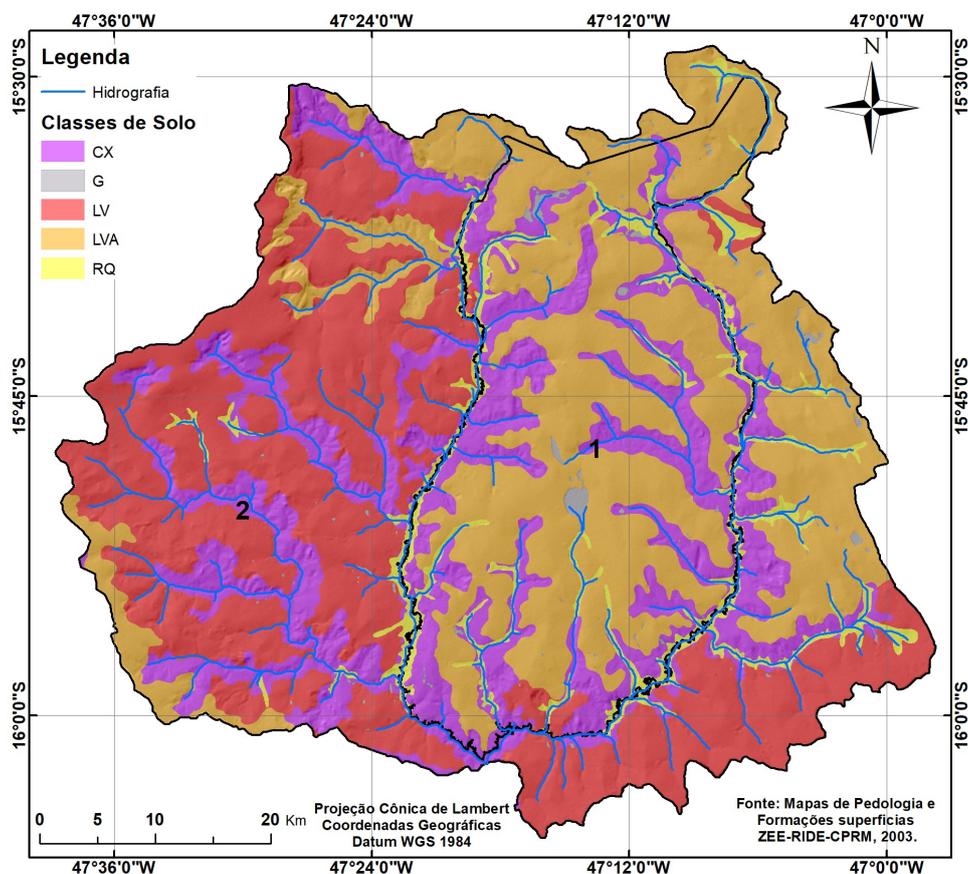
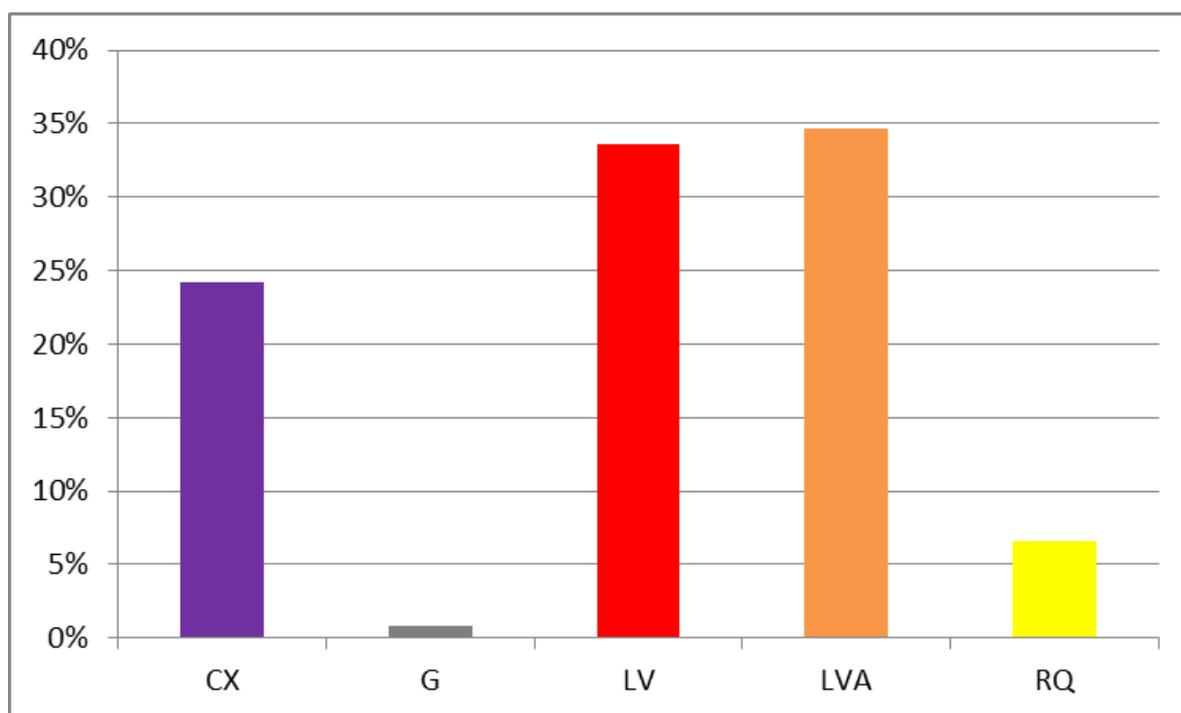


Figura 3. Cambissolo Háplico (CX), Gleissolo (G), Latossolo Vermelho (LV) Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (RQ). Valores de referência, conforme Tabela 3. Modificado pelo autor

Gráfico 1. Percentual da distribuição das classes de solo na bacia do alto rio Preto.



Os dados hidráulicos de condutividade foram estimados a partir da comparação de ensaios de penetração *in situ*, realizados em todo o Estado de Goiás (CAMPOS *et al*, 2006). Através de medições por meio de uso de anéis concêntricos, a condutividade hidráulica superficial foi mensurada. O open end hole foi utilizado para determinar a condutividade em profundidades alteradas (50cm, 100cm, 150cm e 200cm). Os dados foram analisados e extrapolados para a região, uma vez que não há alterações significativas entre os tipos pedológicos examinados no Estado de Goiás e na Bacia do Rio Preto.

Os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos são pertinentes a terrenos de relevo limpo a suave ondulado que suportaram forte intemperismo por tempo prolongado. Há mostras de Latossolos Vermelhos em área ampla nas partes norte e sul da área, com evento de manchas destes ao alongado da porção central onde o relevo é aplanado. Latossolos Vermelho-Amarelos são verificados na porção noroeste, margem leste e porção sul da bacia. Apresentam estruturação dos tipos granular ou grumosa. Quanto à textura, podem ser argilosos, siltosos, arenosos ou apresentarem textura franca, embora a diferença textural nesses tipos de solo seja pouco significativa.

As grandes profundidades, associadas ao tipo de solo aplanado, permitem que pouca quantidade de água seja perdida para a declive superficial. Os valores de

condutividade hidráulica na superfície variam na ordem de grandeza de 10^{-4} m/s a 10^{-7} m/s, sendo que os valores frequentemente encontrados são de 10^{-6} m/s e 10^{-5} m/s, o que indica uma dimensão moderada a alta. Em espessuras de 50 cm a 200 cm, os resultados mudam da ordem de grandeza de 10^{-5} m/s a 10^{-8} m/s, de modo que os valores mais comuns são 10^{-6} m/s e 10^{-7} m/s, demonstrando magnitude moderada a baixa. Há uma tendência de os valores de condutividade baixarem com o aumento da profundidade, uma vez que os Latossolos comumente se tornam menos estruturados a maiores profundidades. Tais valores de condutividade refletem uma disposição moderada a esse tipo de solo a permitir a infiltração das águas de chuva (EMBRAPA, 2006).

Cambissolos e Neossolos Litólicos proporcionam comportamento hídrico idêntico, de tal forma que os resultados de condutividade hidráulica adquiridos para essas categorias de solo podem ser agrupados em um mesmo conjunto de dados, sendo que raramente é admissível desenvolver o experimento de infiltração a funduras maiores que 50 cm. Os valores de condutividade em superfície mudam de 10^{-4} m/s a 10^{-8} m/s, com resultados frequentes de 10^{-6} m/s e 10^{-5} m/s. Em profundidades (menor que 100 cm), o valor mais comum encontrado é de 10^{-7} m/s. Esses dados demonstram que os Cambissolos e Neossolos Litólicos não constituem bons aquíferos porosos, bem como não representam áreas de recarga significativa, uma vez que apresentam espessuras restritas e possuem moderada a baixa capacidade de infiltração, sendo que grande parte da infiltração inicial é perdida por interfluxo entre os horizontes A e B ou A e C, no caso dos Neossolos (EMBRAPA, 2006).

Os Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos estão localizados em terrenos aplainados nas porções norte e central da bacia. São solos que exibem B textural, sendo que a textura varia de argilosa a muito argilosa e proporcionam solos muito espessos. Apresentam porosidade efetiva semelhante àquela verificada nos Latossolos. Foram desenvolvidos sobre os pelitos do Grupo Bambuí, além de metarritmitos e unidades Pelito Carbonatadas do Grupo Paranoá (EMBRAPA, 2006).

METODOLOGIA

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Alto Rio Preto, englobando a área interna e externa do CIF, sendo que a Área 1 se localiza dentro do CIF e Área 2 fora, conforme Figura 5.

A Figura 4 demonstra as etapas de elaboração, organização e análise do mapa de

PNE da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Preto. O PNE incide em um modelo onde os Fatores C e P da equação da EUPS adquirem o valor 1, atinente ao pior cenário em relação ao uso e ao manejo do solo. Os fatores são descritos individualmente seguido pelo mapa como resultado, conforme Figura 13.

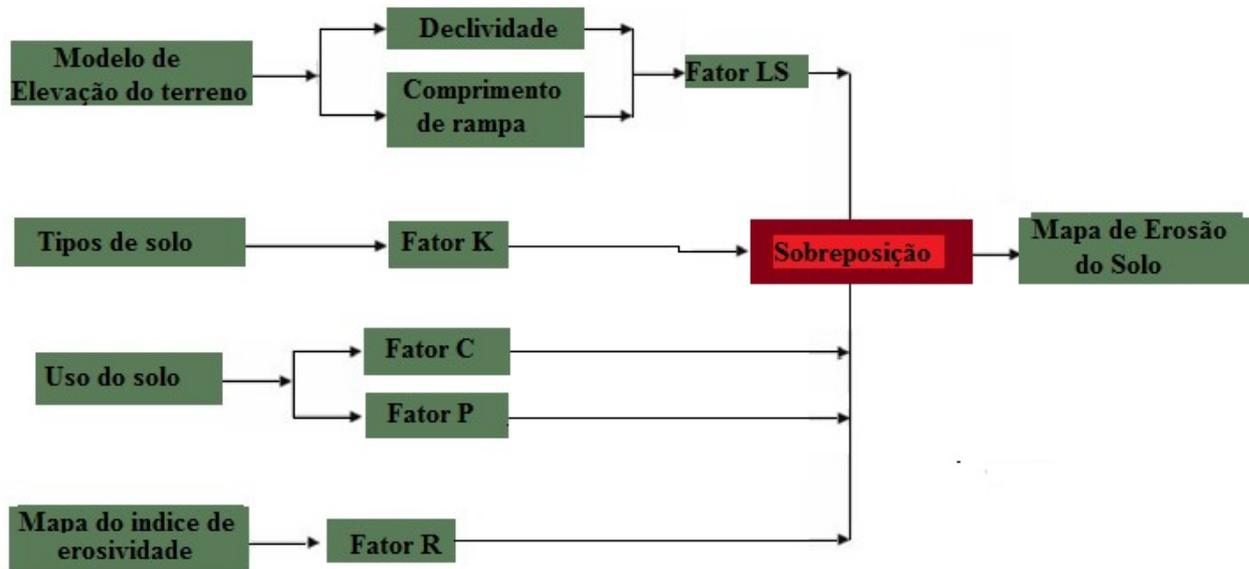


Figura 4. Fluxograma de etapas e variáveis para estimar perda de solo, SILVA et al (2007), adaptado pelo autor.

Fator LS (topográfico)

O fator LS = fator topográfico, L = comprimento de rampa em metros e S = declividade do terreno em porcentagem.

LS – fator topoGráfico – este parâmetro reflete as influências da declividade e o comprimento de rampa. Pode ser calculado manualmente ou no SIG via Flow accumulation.

$$LS = 0,00984 * (L)^{0,63} * (S)^{1,18}$$

No ArcGis, foi utilizado a função álgebra de mapas (considerando o tamanho e relação entre pixels). Para o cálculo do fator L, foi utilizado DEM (Digital Elevation Model) advindo do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Com pixel de 90m reamostrado para 100m, utilizando a ferramenta Ressampling. No “Spatial Analyst” ferramenta “Hydrology”, o modelo “fill” foi gerado após o modelo “flow direction”, que teve como base o modelo “flow accumulation”, resultando no tamanho de rampa com a soma dos pixels de acumulação de fluxo desde o divisor (início da série) até o fundo de vale (final da série). Para o cálculo do fator S sobre o SRTM reamostrado, foi calculada a declividade em percentual utilizando a ferramenta “raster surface” no “3D analyst”, procedimento utilizado por Vieira (2008).

A equação do LS foi reescrita na ferramenta “raster calculator” do “spatial analyst” no ArcGis 10.2.1 da seguinte forma:

$$\text{Power}(\text{facc} * \text{cell resolution} / 22.1, 0.4) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{slp} * 0.01745) / 0.09, 1.4) * 1.4$$

Segundo VIEIRA, V. F. (2008), o índice do fator topográfico é adimensional e pode ser dividido nos seguintes intervalos:

Tabela 1

| ÍNDICE DE FATOR TOPOGRÁFICO | |
|-----------------------------|-------|
| 0-2 | Baixo |
| 2-4 | Médio |
| >4 | Alto |

FATOR R (EROSIVIDADE)

Os procedimentos metodológicos adotados podem ser subdivididos em três etapas: (a) Obtenção dos dados através do site da ANA (Agência Nacional de Águas) Hidroweb, (b) Identificação dos dados faltosos e que estavam em discrepância, e (c) Consistências dos dados.

Primeiramente foi feita a escolha de quais pontos de coleta teriam os dados mais consistentes, e que poderiam ser utilizados para a pesquisa, conforme Tabela 2. Após esta etapa, foram feitos os trabalhos de identificação de falhas na planilha, sejam elas: quanto ao preenchimento dos dados, localização de alguns dados faltosos, descontinuidade no preenchimento dos dados, os dados consistidos, dados brutos entre todos os dias no ano, durante o período de 1970 a 2016. Os pontos de coletas estão descritos na Tabela 2.

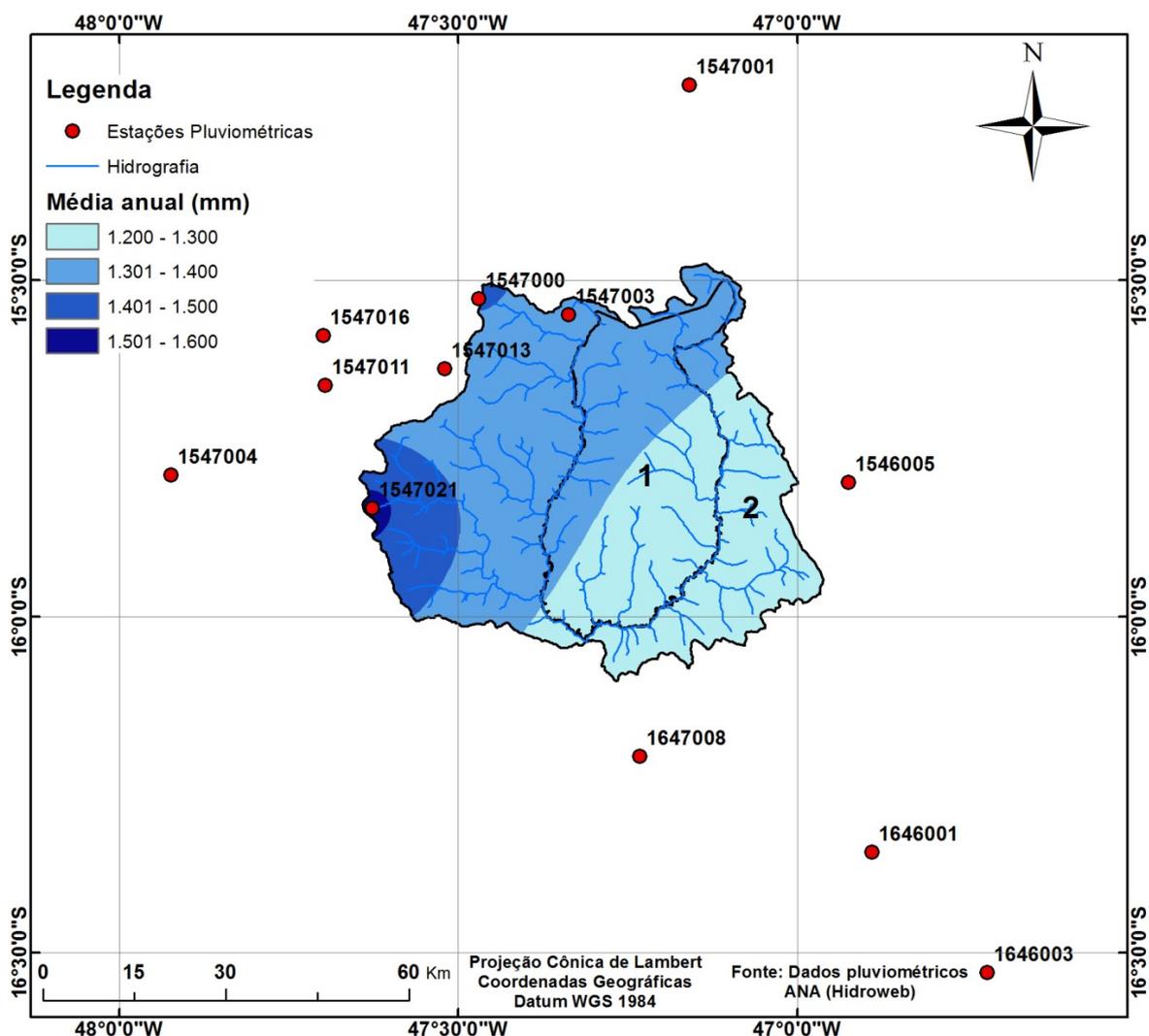


Figura 5. Mapa da bacia hidrográfica do alto Rio Preto e os pontos das estações de coletas. Elaborado pelo autor.

Tabela 2. Estações trabalhadas e coordenadas geográficas

| CÓDIGO | NOME DA ESTAÇÃO | LATITUDE | LONGITUDE |
|---------|----------------------------|---------------|--------------|
| 1546003 | SANTO ANTÔNIO DO BOQUEIRÃO | -15° 36' 0''W | -46°26'0W |
| 1546005 | CABECEIRAS | -15°48'3''S | -46°55'29''W |
| 1547000 | FORMOSA | -15°32'0''S | -47°28'0''S |
| 1547001 | FAZENDA SANTA SÉ | -15°12'58''S | -47°09'25''W |
| 1547002 | PLANALTINA | -15°38'35''S | -47:39:3W |
| 1547003 | FORMOSA | -15°32'56''S | -47°20'17''W |
| 1547004 | BRASÍLIA | -15°47'24''S | -47°55'22''W |
| 1547011 | COLÉGIO AGRICOLA | -15°39'26''S | -47°41'47''W |
| 1547013 | TAQUARA | -15°37'56''S | -47°31'13''W |
| 1547016 | CPAC - PRINCIPAL | -15°35'00''S | -47°42'00''W |
| 1547020 | ETE PARANOÁ | -15°47'48''S | -47°47'01''W |
| 1547021 | BARREIRO DF-130 | -15°50'19''S | -47°37'38''W |
| 1646001 | UNAÍ | -16°21'05''S | -46°53'23''W |
| 1547008 | FAZENDA LIMEIRA | -15°50'29''S | -47°54'31''W |

Os parâmetros utilizados para maior consistência dos dados coletados, das estações foram: <100mm/mês consistente; >100mm/mês ≤ 350mm/mês duvidoso; e >350mm/mês inconsistente, confirmado por estações próximas, e os dados inconsistentes foram desconsiderados. Os meses com menos de 28 (vinte e oito) dias de coleta no período de 1970 a 2016 foram eliminados.

Os parâmetros foram interpolados por “ponderação regional” através da seguinte equação:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{M_x}{M_a} P_a + \frac{M_x}{M_b} P_b + \frac{M_x}{M_c} P_c \right)$$

- P_x – Variável que guardará o dado corrigido;
- M_x – Média aritmética da estação com falha;
- M_a, M_b, M_c – Média aritmética das estações utilizadas;
- P_a, P_b, P_c – Dado da estação vizinha ao posto com falha, do mesmo mês que utilizamos para preencher a falha.

O desprendimento ou desagregação dos fragmentos do solo ocorre em ação desconexa da energia de colisão das gotas de chuva e da força cisalhante do escoamento, iniciando o processo da erosão hídrica. O arraste, ou condução das partículas é feito pelo escoamento leviano da água. No estágio final do processo, a deposição das frações, normalmente nos corpos de água resulta no assoreamento dos leitos dos rios (PANACHUKI *et al*, 2006)

O Fator R (MJ.mm/ha.h.ano) corresponde à aptidão erosiva da chuva em contato direto com o solo. Este fator está sujeito às características anatômicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) fizeram um aprimoramento, para o município de Campinas-SP, do Índice de Erosividade (EI) com base nas médias anuais e mensais de uma determinada estação pluviométrica. Tal equação foi adaptada da equação original de WISCHMEIER & SMITH (1958), para determinar o EI₃₀, índice que trata a capacidade erosiva da chuva num intervalo de 30 minutos.

$$EI = 67,355(r^2/p)^{0,85}$$

Onde:

r: média do total mensal de precipitação em mm, e

p: média do total anual de precipitação em mm.

Conhecendo-se o Índice de Erosividade para cada estação pluviométrica aplica-se o cálculo do Fator R pela equação de WISCHMEIER & SMITH (1978):

$$R = \sum_{J=1}^{12} EI$$

Onde:

R: Fator erosividade da chuva

EI: Índice de Erosividade

Segundo WISCHMEIER & SMITH (1978), para que se consiga êxito no cálculo do Fator R faz-se imprescindível uma análise temporal que agrupe no mínimo um período de 10 a 20 anos. No atual trabalho foi empregada uma série histórica de 46 anos, dividido em décadas (de 1970 a 2016), analisando as estações com séries completas situadas dentro e nas proximidades da bacia.

Os mapas de erosividade (Figura 9), foram elaborados baseados na coleta de dados de chuvas do período de 1970 a 2016, e elaborados através de dados inseridos no Arcgis 10.2.1, que resultou nos mapas.

FATOR K (ERODIBILIDADE)

O Fator Erodibilidade cogita a suscetibilidade à erosão ou a ausência de capacidade de resistir aos artificios erosivos para um determinado tipo de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978; VILAR & PRANDI, 1993). Tal fator depende de propriedades como: textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade (RESENDE, 1985).

Para a deliberação da erodibilidade do solo vários artificios foram preparados, entre eles destaca-se os de WISCHMEIER *et al* (1971), LOMBARDI NETO & BERTONI, (1975), DENARDIN (1990) e CHAVES (1994).

Nesta análise foram utilizados dados da pesquisa feita por CHAVES (1994), que desenvolveu uma equação para determinação do Fator K de forma indireta e o aplicou para aferir a erodibilidade para toda a Bacia do Rio São Francisco. Este método leva em consideração a concentração de silte, carbono orgânico, óxido de alumínio, óxido de ferro e óxido de silício. Para calcular o “K” foi atribuído os valores médios de “K” para cada grupo de solo (SILVA, 2004). Para isso foi, no SIG, criado um campo na Tabela de solos para

atribuição dos valores de K. E, depois, foram atribuídos os valores com o modo de edição ligado.

Tabela 3. Erodibilidade dos solos (fator K)¹ da bacia do Rio Paracatu

| Sigla | Unidade de mapeamento | Média dos valores de K (t.ha.h)(ha.MJ.mm) ⁻¹ |
|-------|---|--|
| A | Aluviais (Neossolos Flúvicos) | 0,042 |
| AQ | Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) | 0,032 |
| C | Cambissolos (Cambissolos) | 0,048 |
| HG | Hidromórficos (Gleissolos) | 0,038 |
| LR | Latossolos Roxos (Latossolos Vermelhos) | 0,013 |
| LV | Latossolos Vermelho-Amarelos (Latossolos Vermelho-Amarelos) | 0,032 |
| LE | Latossolos Vermelho-Escuros (Latossolos Vermelhos) | 0,014 |
| PE | Podzólicos Vermelho-Escuros (Argissolos Vermelhos) | 0,040 |
| R | Litólicos (Neossolos Litólicos) | 0,040 |

¹ – Os valores de K nessa Tabela são médios. Silva (2004).

O segundo passo foi transformar os valores inteiros do mapa de “K” para valores reais (float), para tal foi utilizado à ferramenta “Lookup” em “spatial analyst tools>>reclass>>lookup”, indicando o valor de “K” na Tabela e gerando um novo raster.

Através da edição do mapeamento de CHAVES (1994) o mapa gerado apresenta-se dividido em classes de interpretação, adaptado de CARVALHO (1994).

$$K = 2,47 \times 10^3 (SIL) - 5,23 \times 10^3 (OAL) + 8,89 \times 10^3 (CO)^2 + 1,15 \times 10^{-2} (OFE)^4 + 1,42 \times 10^{-4} (OSI + OSI^2) - 1,89 \times 10^{-2} \left[\frac{OSI}{(OFE + OAL)} \right]^2$$

Onde:

SIL = porcentagem de silte no solo;

OAL = porcentagem de óxido de

alumínio; CO = porcentagem de carbono orgânico; OFE = porcentagem de óxido de ferro; OSI = porcentagem de óxido de silício, sendo todos os óxidos extraíveis por ácido sulfúrico.

Tabela 4. Classes de interpretação dos valores de K

| INTERVALOS DE VALORES DE K (ton.ha.h.MJ ⁻¹ .ha ⁻¹ .mm ⁻¹) | CLASSES DE INTERPRETAÇÃO | ÁREA (km²) | ÁREA (%) |
|---|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| K < 0,0198 | Erodibilidade baixa | 4.580,29 | 18,67 |
| 0,0198 < K < 0,040 | Erodibilidade média | 14.357,45 | 58,53 |
| K > 0,040 | Erodibilidade alta | 5.594,26 | 22,80 |

Fonte: Carvalho (1994) adaptada pelo autor.

É importante ressaltar que o método de Chaves (1994) leva em consideração apenas as características químicas dos solos o que pode acarretar em alguns erros e/ou dúvidas, a exemplo da atribuição de baixa erodibilidade de solos classificados como Neossolo Quartzarênico, que são altamente erodíveis devido à sua textura. Nos estudos desenvolvidos na área modelo, o método se mostrou eficiente como uma ferramenta de avaliação direta das taxas de erosão.

Sendo os valores inferidos aos parâmetros da EUPS conhecidos e confiáveis tendo sido um bom indicador das taxas de erosão medidas, foi possível avaliar os métodos de estimativa do fator K para, por meio da comparação entre as taxas de erosão calculadas pela EUPS, com base nos diferentes valores do fator K, e as taxas de erosão obtidas. Diante dos dados disponíveis, o resultado foi expresso através do mapa de erodibilidade (Figura 13).

FATORES C E P

O fator C, fator de uso e manejo do solo, determinado a partir do grau de cobertura do solo por resíduos e por plantas, depende do estágio de desenvolvimento das culturas. Este parâmetro é o mais difícil de ser determinado, pois requer também a realização de experimentos em campo.

Para a obtenção de C, que possui como valor máximo 1 para solo exposto, foram utilizados valores médios calculados para outras bacias, citados por Brito *et al* (1998) e Bertoni & Lombardi Neto (1990). Esses autores determinaram, com base em dados experimentais, valores de perdas de solo por erosão laminar em função dos diferentes fatores de uso e manejo do solo.

BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) conceituam os Fatores C e P de forma

dissociada. O Fator C (uso e manejo) pode ser deliberado como a relação aguardada entre as perdas do solo de uma área de cultivo, conforme um manejo qualquer, e as perdas apropriadas de um solo na própria área, mantendo o solo exposto. O Fator P (prática conservacionista), por sua vez, é qualificado como a relação entre a amplitude esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas que a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo).

O Fator CP é definido como a semelhança entre a perda de solo esperadas para áreas com cultivos e vegetação e, as extensões descobertas. STEIN *et al* (1987) definiram índices para os Fatores CP, de acordo com o desempenho dos distintos tipos de vegetação (Tabela 5). Estes indicadores foram apropriados para as classes de vegetação e uso identificadas na Bacia do Alto Rio Preto (Tabela 6).

Tabela 5. Interpolação dos fatores C e P em função das classes de uso da terra

| Grupo | Categoria | Valores de CP |
|--|--------------------------|---------------|
| 1. Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno | 1a) Floresta | 0,00004 |
| | 1b) Vegetação Secundária | 0,00004 |
| | 1c) Cerradão | 0,00004 |
| | 1d) Reflorestamento | 0,00010 |
| 2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno | 2a) Cobertura residual | 0,00070 |
| | 2b) Cerrado | 0,00070 |
| | 2c) Cultura Permanente | 0,25000 |
| | 2d) Cana-de-açúcar | 0,05000 |
| 3. Vegetação de porte médio a baixo cobertura parcial do terreno | 3a) Cobertura residual | 0,25000 |
| | 3b) Cultura permanente | 0,25000 |
| 4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno | 4a) Cobertura residual | 0,01000 |
| | 4b) Pastagem | 0,02000 |
| | 4c) Cultura temporária | 0,01000 |
| | 4d) Campo cerrado | 0,01000 |
| | 4e) Campo natural | 0,01000 |
| 5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno | 5a) Cobertura residual | 0,01000 |
| | 5b) Pastagem | 0,01000 |
| | 5c) Cultura temporária | 0,20000 |
| 6. Ocupações naturais diversas | 6a) Várzea | 0,00000 |
| | 6b) Espelho d'água | 0,00000 |
| 7. Ocupações antrópicas diversas | 7a) Área urbana | 0,00000 |
| | 7b) Estrada | 0,00000 |

Fonte: STEIN *et al* (1987) Apud Juio Storion de Oliveira (2012).

Tabela 6. Classes de CP adotadas para a Bacia do Rio Preto-GO

| CLASSE | FATOR CP |
|---------------|-----------------|
| Cerrado | 0,0007 |
| Mata Galeria | 0,00004 |
| Áreas Úmidas | 0 |
| Solo Exposto | 1 |
| Agropecuária | 0,15 |
| Área Urbana | 0 |

São identificados na Tabela 6, valores para CP, as classes de Áreas Úmidas e Área urbana, onde a perda de solo é incipiente apresentam valor nulo. A classe Mata Galeria, com campo de densa vegetação e baixa perda de solo apresenta valo

r de 0,00004. Nesta classe o cerrado de grande e médio porte é responsável pela redução do impacto das gotas da chuva diretamente no solo.

A categoria do Cerrado possui um valor de CP de 0,0007, devido sua vegetação mais esparsa, menos sombria e composta por árvores em geral de baixo a médio porte, além de arbustos e gramíneas.

O maior valor para CP corresponde à categoria Solo Exposto de uso diversificado (1). Este valor é válido por corresponder à classe de cultura tanto temporária quanto perene na Tabela de Farinaso (2006). O uso agrícola de modo geral acarreta em grande taxa de perdas de solo, a retirada da vegetação e a exposição do solo para o contato direto com a água pluvial é um dos principais motivos.

POTENCIAL NATURAL A EROSÃO (PNE)

O PNE simula a interação dos principais fatores naturais do ambiente natural que controlam a erosão laminar, obedecendo às estimativas de perdas de solo laminar em áreas de cobertura vegetal removidas, e sem nenhuma intervenção conservacionista.

É um método aplicável para a verificação dos possíveis conflitos ambientais gerados por ação antrópica como: pecuária extensiva; agricultura mecanizada; e edificação de cidades, os quais são responsáveis por modificações no padrão de impermeabilização e penetração de água no solo. Tais alterações podem gerar expressiva alteração no ciclo hidrológico o que, e por consequência, altera a ação dos métodos erosivos de origem hídrica e soma a fragilidade ambiental (STEIN *et al*, 1987).

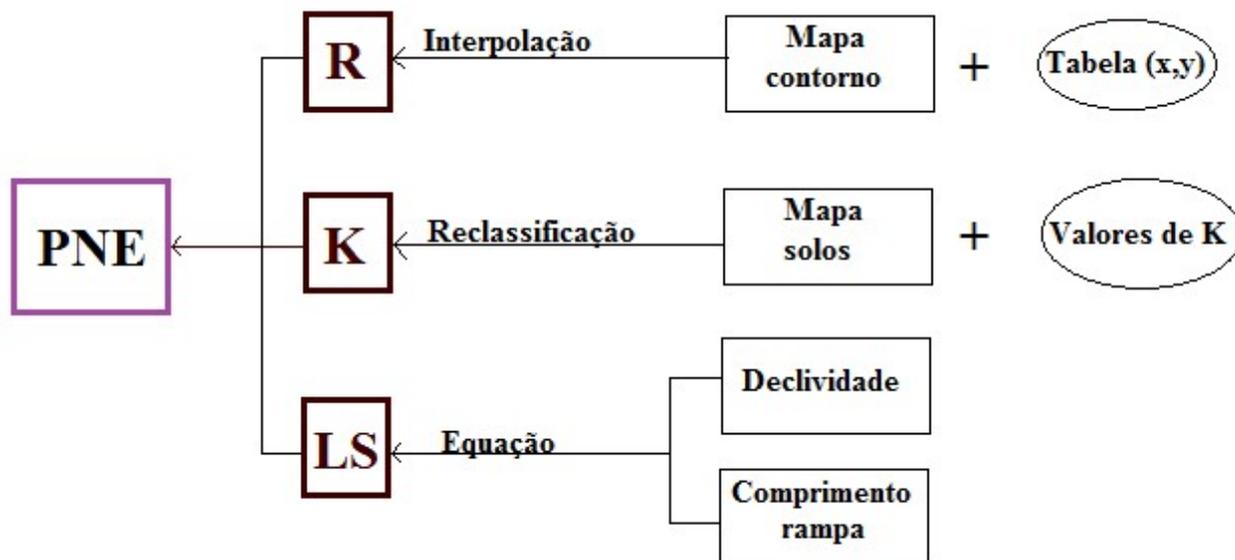


Figura 6. Fluxograma de etapas e variáveis para determinar Potencial Natural a Erosão. (adaptado de CHECCHIA, 2004). Pelo Autor.

O PNE da bacia do alto Rio Preto foi calculado utilizando a extensão Raster Calculator do Arcgis 10.2.1, tendo como dados de entrada os fatores R, K e LS da EUPS. O mapa foi classificado em quatro unidades de acordo com Valério Filho (2004).

Tabela 7. Classes de interpretação para a perda de solo potencial na Bacia do Rio Urucuia

| INTERVALO | CLASSE DE INTERPRETAÇÃO |
|------------|-------------------------|
| < 400 | Fraca |
| 400 – 800 | Moderada |
| 800 – 1600 | Moderada a forte |
| > 1600 | Forte |

Fonte: Valério Filho (2004).

Após os trabalhos realizados com o levantamento de dados de chuvas através do site da ANA (Agência Nacional de Águas), por meio do ArcGis 10.2.1 foram gerados os mapas de uso de solo conforme ilustrado na Figura 4.

As imagens na Figura 7 simulam visualmente os efeitos dos percentuais das classes da pesquisa, e representam a evolução do uso do solo na área total da bacia do Alto Rio Preto ao longo das décadas de 1970 a 2016.

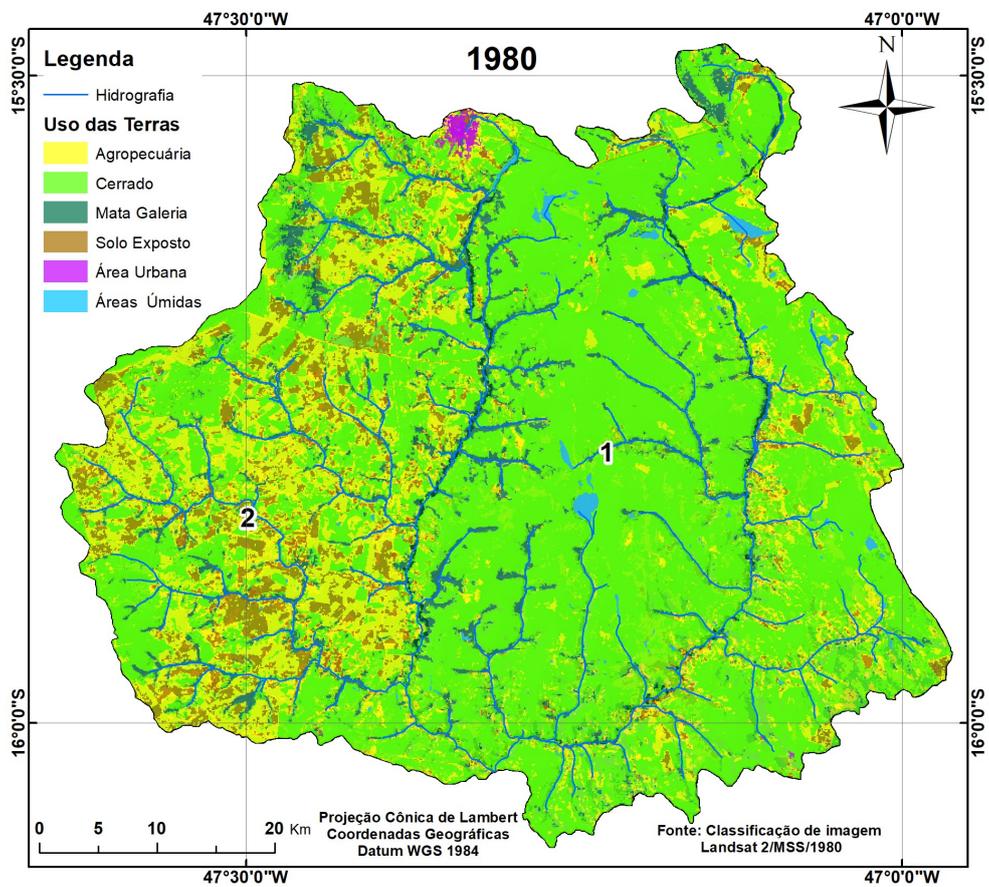
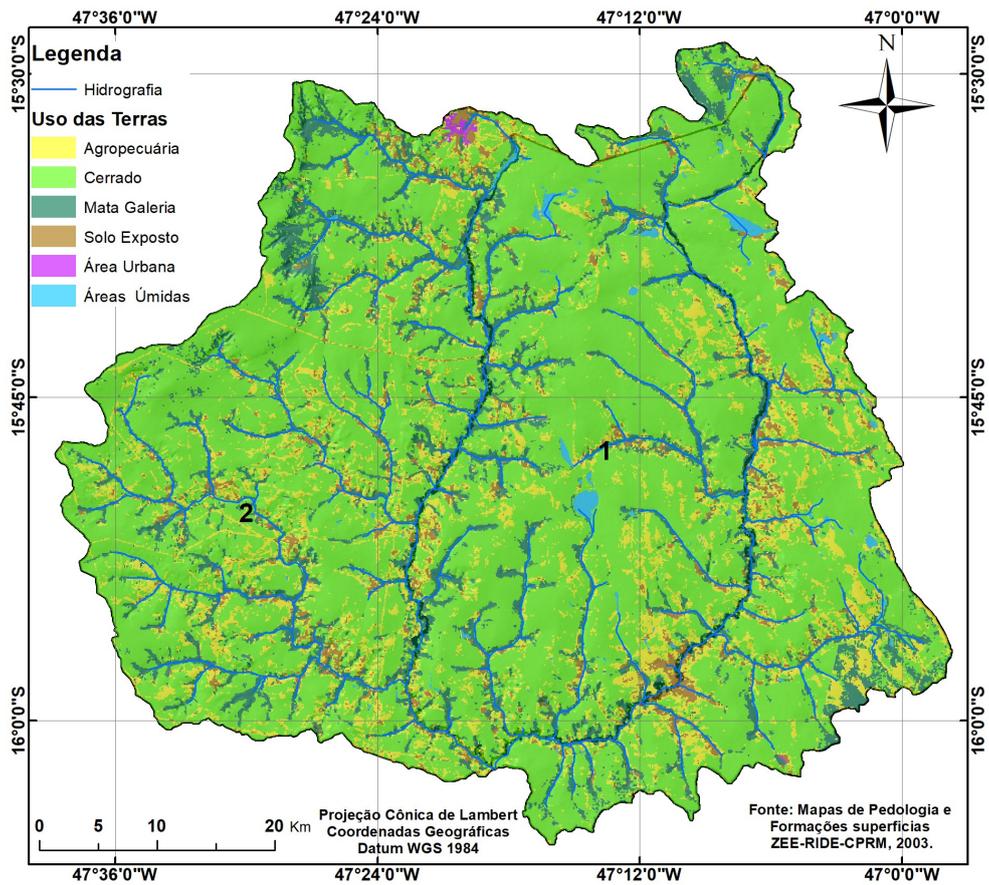
CONFECÇÃO DO MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA

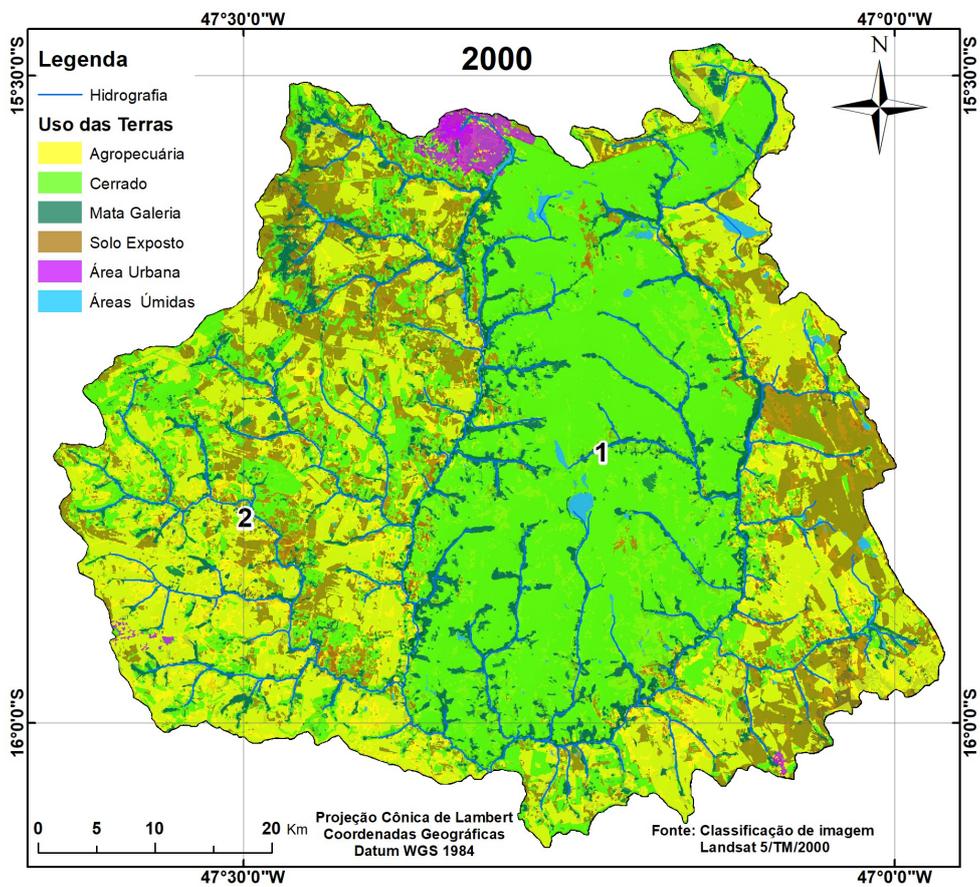
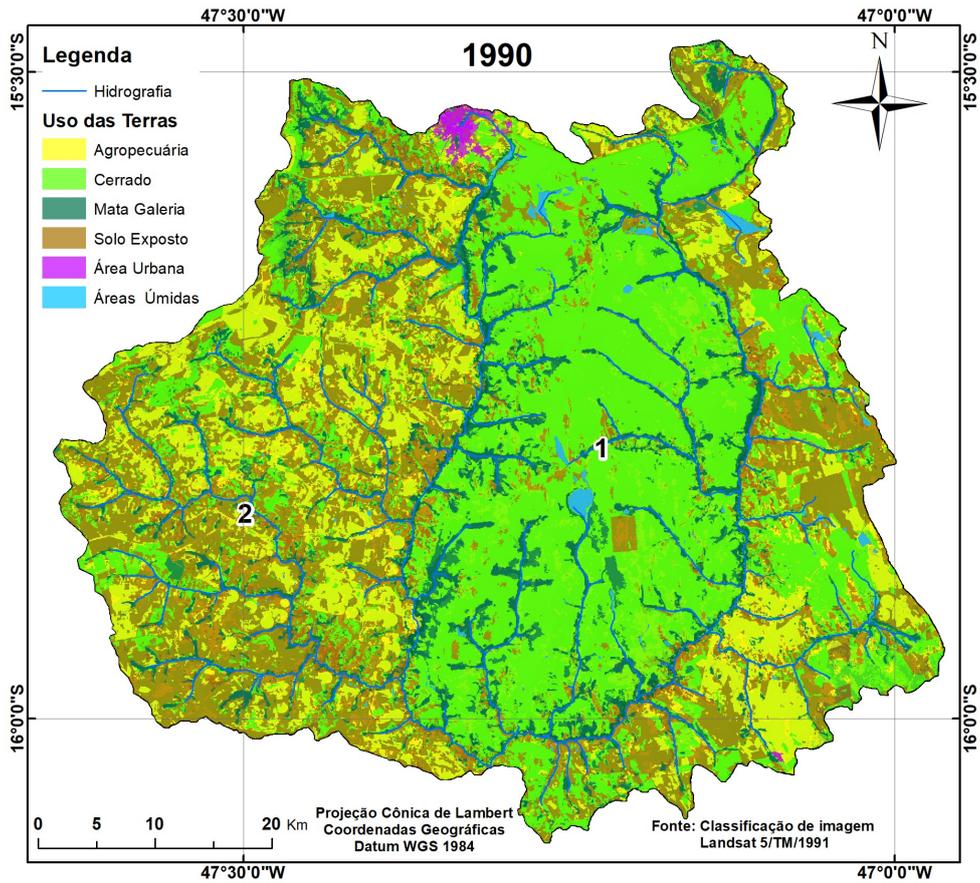
A obtenção do mapa de uso e cobertura da terra foi realizada através de dados de séries de imagens LANDSAT, coletados através do site do INPE, no período de 1970 a 2016. Aqui são apresentadas as principais técnicas de classificação utilizadas para fins de

verificação, porém o trabalho foi realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica entre o Exército Brasileiro e Universidade de Brasília, por Pacheco *et al* (2018).

O classificador ISODATA é um procedimento não supervisionado que consiste em uma análise exploratória dos dados sem a influência do usuário (BALL & HALL, 1967). Este procedimento está no campo dos classificadores por julgamento de grupos, sendo cada vez mais agregada como um forte utensílio na averiguação científica, contribuindo expressivamente para uma análise exploratória dos preceitos existentes. A apreciação de grupos tem como finalidade particionar um conjunto de N institutos, em subconjuntos apontados e não vazios, que estejam tão homogêneos quanto possível (SAMPAIO, 1990). A classificação dos grupos é deliberada por interferência de uma medida de semelhança ou dissimilaridade entre os parâmetros, como por exemplo, o da distância Euclidiana. No final do procedimento objetiva-se resolver grupos ou clusters que sejam conexos e decorrentes naturais da própria estruturação dos dados. O ISODATA é um processo não-hierárquico que seleciona inicialmente os centros para os agrupamentos designados sementes e a partir de uma distância pré-determinada agrupa os elementos em sua circunferência, sendo que o número de classes não é acentuado anteriormente. Este procedimento estatístico defende a formulação de hipóteses sobre a estrutura interna dos dados (MELLO *et al*, 2012).

A seguir foi feito um ajuste manual com intuito de salientar as classes de interesse e diminuir o número de polígonos gerados a escala de visualização utilizada foi 1:100.000, e como resultado são apresentados os mapas referentes ao uso de solo no período de 1970 a 2016 (Figura 15).





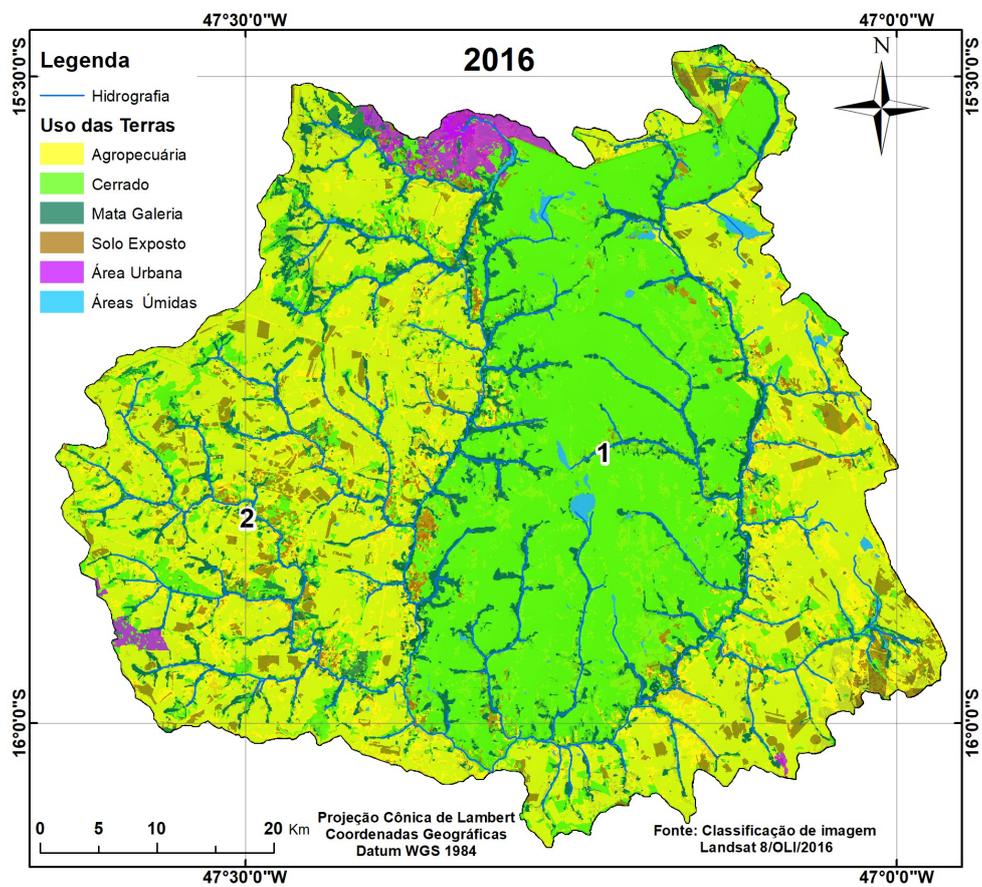
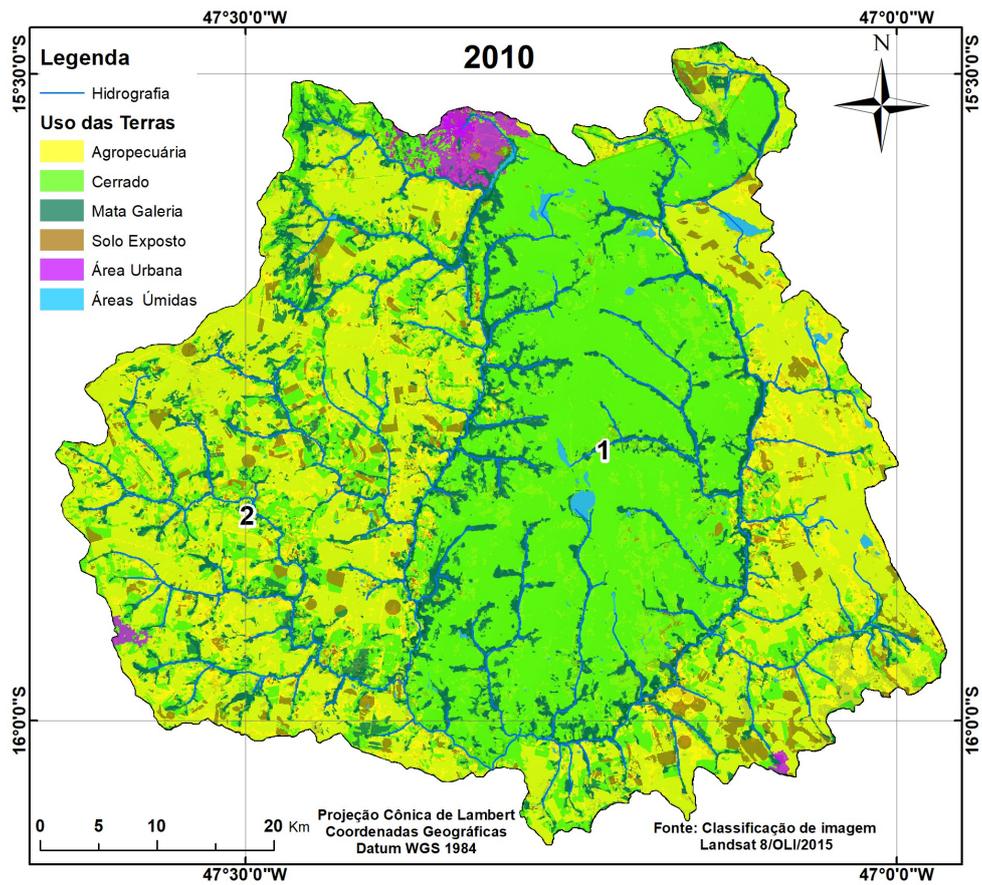


Figura 7. Mapas de uso e ocupação do solo, 1970 a 2016. Editado de Pacheco, et al, 2018.

CONFECÇÃO DO MAPA DE EROÇÃO ATUAL

A confecção do mapa da EUPS obedece à estimativa das avarias de solo, quando submetidos aos diferentes tipos de uso e manejo do solo. A diminuição da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da abundância de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujos ajustes apresentam distintos efeitos na perda de solo.

Para computar a erosão atual, são corrigidos os atributos da EUPS, fatores L, S, R, K e fatores C e P. O fruto do cruzamento dos Grid's representa a influência mútua entre os fatores. Para explicar os valores levantados a partir deste cruzamento, CARVALHO (1994) organizou classes de explanação que vão desde nula a muito forte perda de solo (Tabela 8), dando um viés qualitativo a análise da erosão atual.

Tabela 8. Classes de interpretação para a estimativa de perda de solo atual na Bacia do Rio Preto - GO

| TAXAS DE PERDA DE SOLO (t/ha.ano) | CLASSES DE INTERPRETAÇÃO |
|--|---------------------------------|
| < 15 | Nula a moderada |
| 15,1 – 50 | Média |
| 50,1 – 120 | Média a Forte |
| > 120,1 | Forte a Muito Forte |

Fonte: Carvalho (1994) adaptada pelo autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens da Figura 7 representam os resultados dos percentuais das classes examinadas durante esta pesquisa, e simulam a evolução do uso do solo na área total da bacia do Alto Rio Preto ao longo das décadas de 1970 a 2016. A partir destes resultados é possível estabelecer uma relação direta entre a proteção que a área militar fornece a vegetação típica e, o quanto os efeitos da agricultura extensiva e a pecuária tem avançado, produzindo áreas de solo exposto (NEVES, 2011).

Os dados proporcionados a seguir, foram originados a partir da análise multitemporal dos dados coletados ao longo desta pesquisa, principalmente, aqueles gerados durante a classificação e o geoprocessamento dos dados da área objeto de estudo entre 1970 a 2016, empregando como referencial as classes: cerrado, solo exposto, mata galeria, agropecuária e área urbana. Os resultados em percentuais estimativos, atestam o comportamento do uso e ocupação do solo da bacia do Alto Rio Preto, tanto em sua área total como em suas subáreas 1 (dentro do CIF) e 2 (fora do CIF).

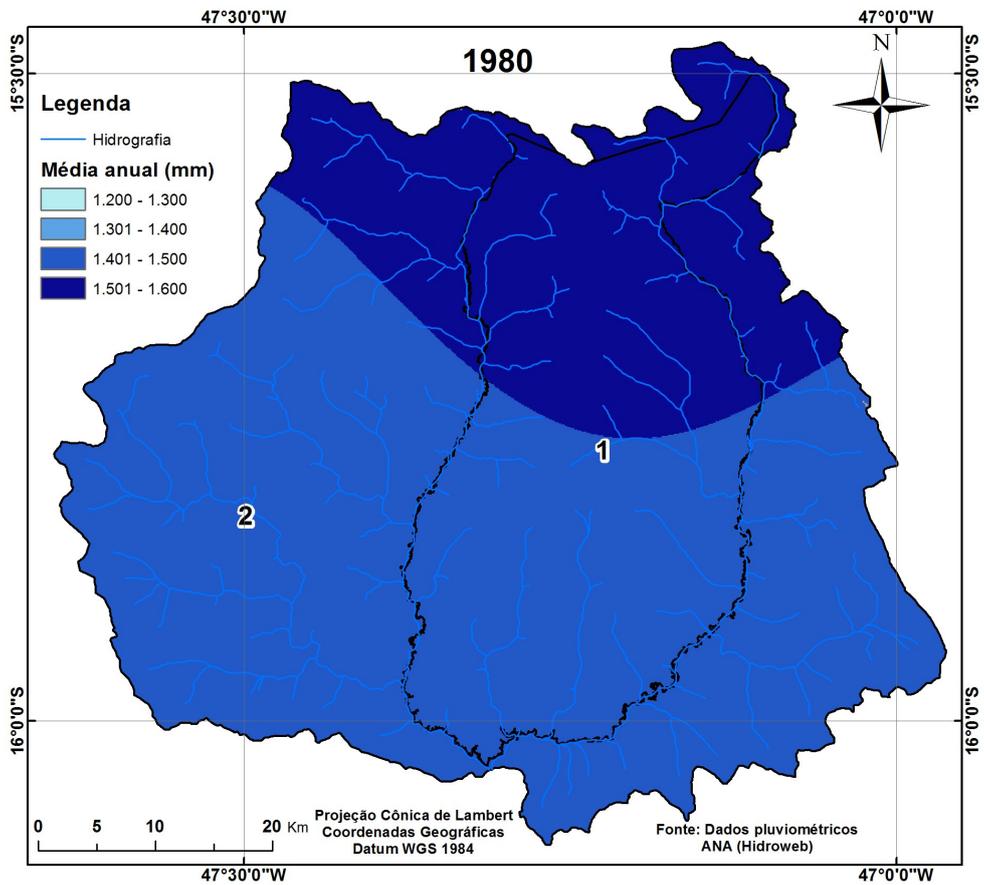
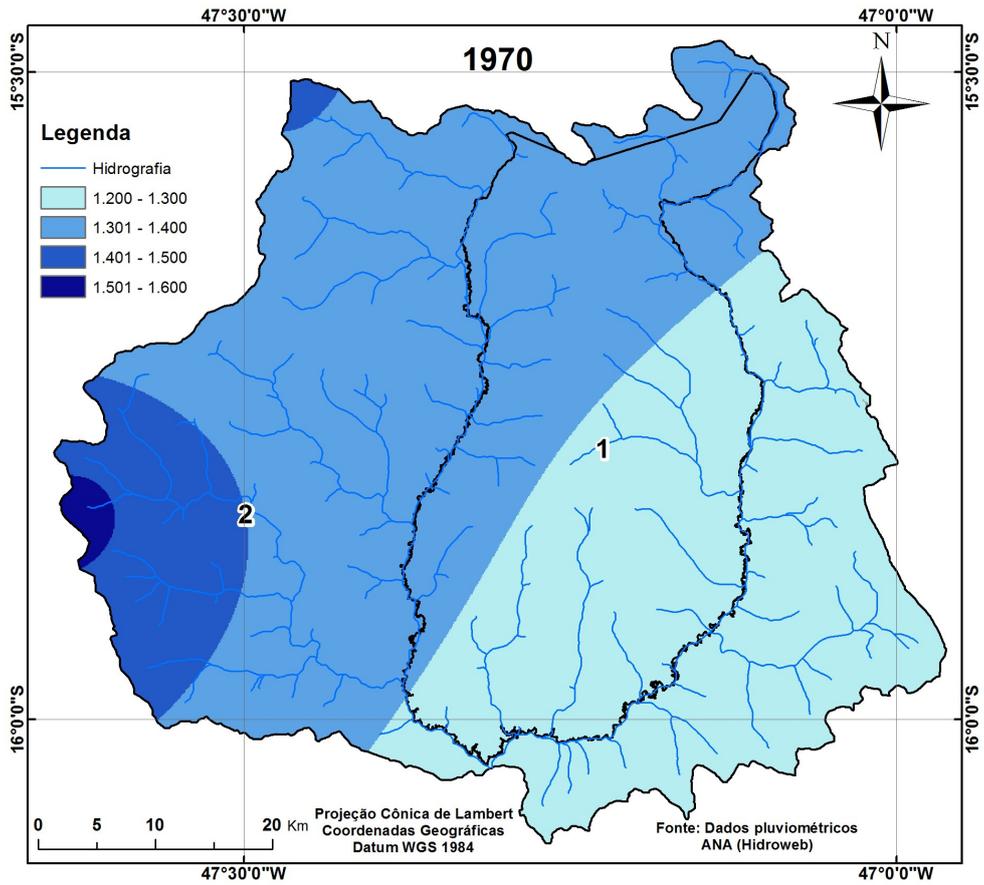
FATOR R

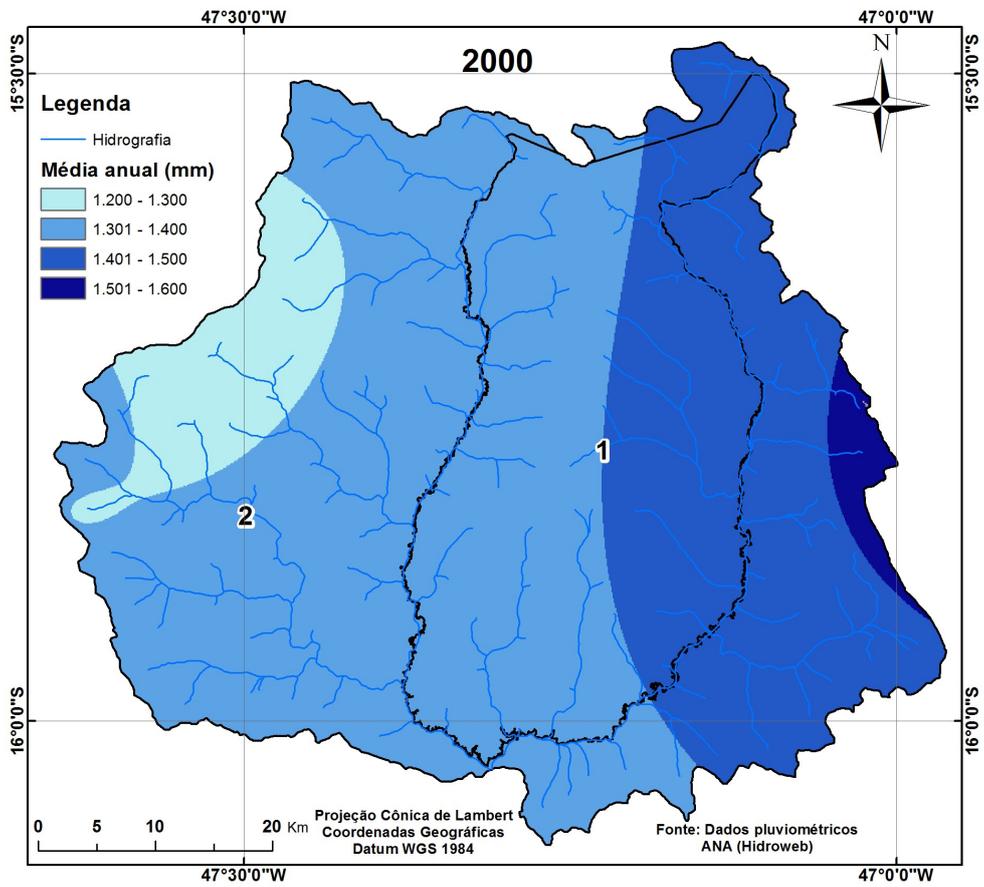
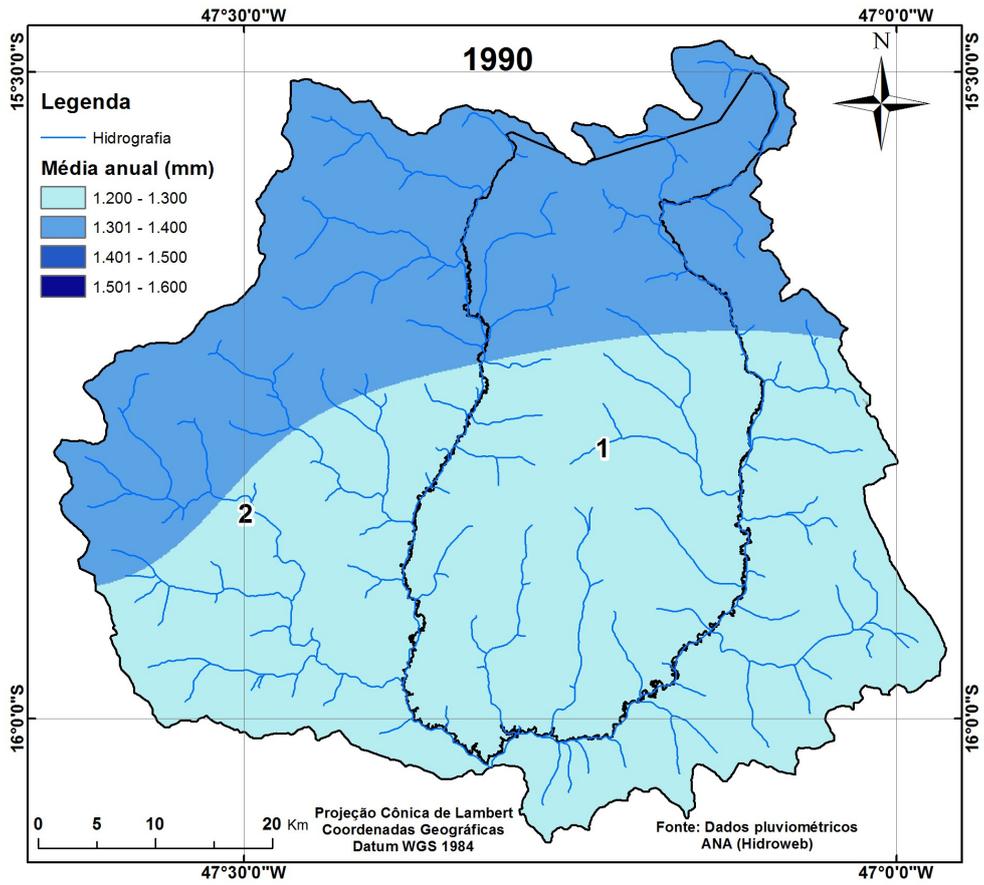
As primeiras chuvas são importantes na restauração da umidade natural do solo e no abastecimento da vegetação, enquanto as posteriores garantem a recarga dos aquíferos. Com base nos dados de precipitação média, observa-se uma distribuição pluviométrica relativamente homogênea por toda a bacia, enquanto os valores de evaporação mais altos estão condicionados a sua porção central. A exploração nos meses de seca deve ser gerida para garantir água durante o período de estiagem.

Analisando os dados de pluviosidade média anual para cada década (Figura 8), percebe-se que na década de 1970, os maiores índices de pluviosidade ficaram concentrados em uma pequena parte a sudoeste da bacia, situados na margem oeste e noroeste alcançando índices superiores a 1.500mm; Na década de 1980, houve uma maior concentração de chuvas com índices superiores a 1.500mm, que foram concentrados na parte norte, noroeste e nordeste da bacia; Na década de 1990, os índices pluviométricos foram bem inferiores às outras duas décadas, com índices não ultrapassando os 1.400mm, que foram concentrados na parte norte, oeste, nordeste e noroeste da bacia.

Já na década de 2000, houve um aumento de pluviosidade em relação à década anterior, com concentração de chuvas com índices superiores a 1.500mm, que foram concentrados na parte leste e sudeste da bacia; na década de 2010, os índices pluviométricos foram bem inferiores que todas as outras décadas, com índices não ultrapassando os 1.400mm, em uma pequena parte a nordeste da bacia.

Estes resultados demonstram que o clima não apresenta variações significativas ao longo de algumas décadas, porém a ação antrópica pode provocar pequenas variações climáticas locais, no caso desta área, por conta da remoção da cobertura vegetal nativa, que não vai contribuir com a evapotranspiração, além das pequenas variações na temperatura que a falta de vegetação pode ocasionar (MARTELLI & SANTOS JR, 2015).





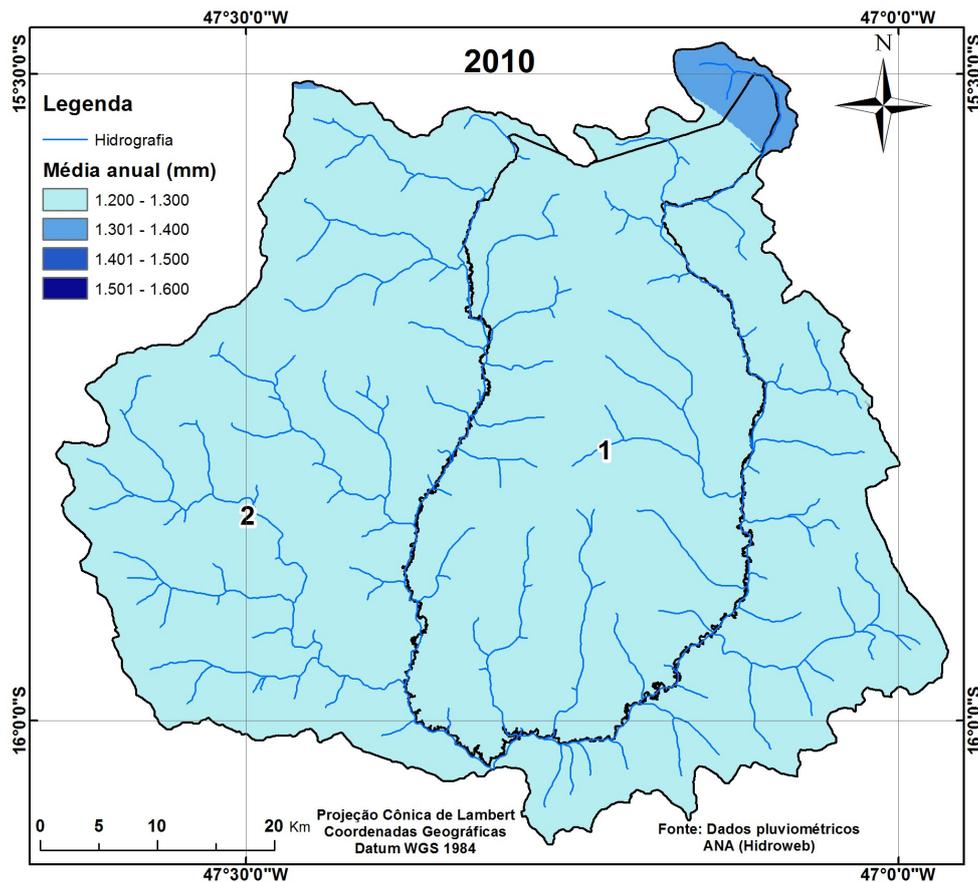
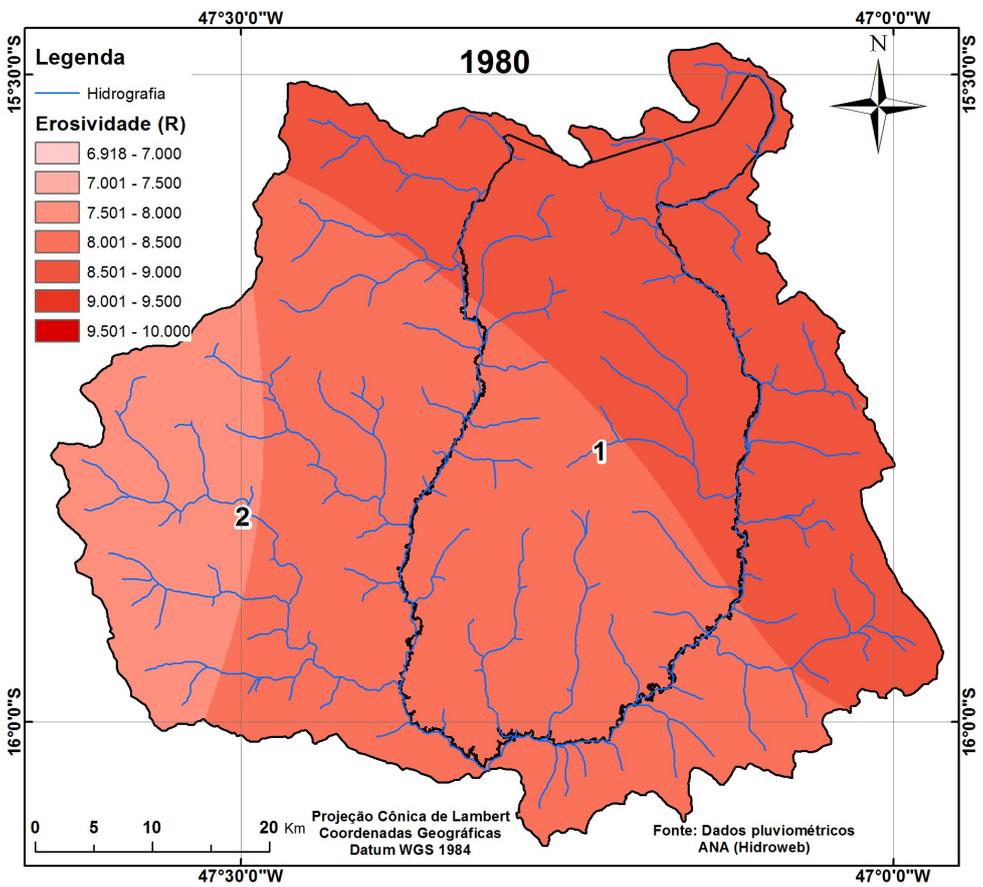
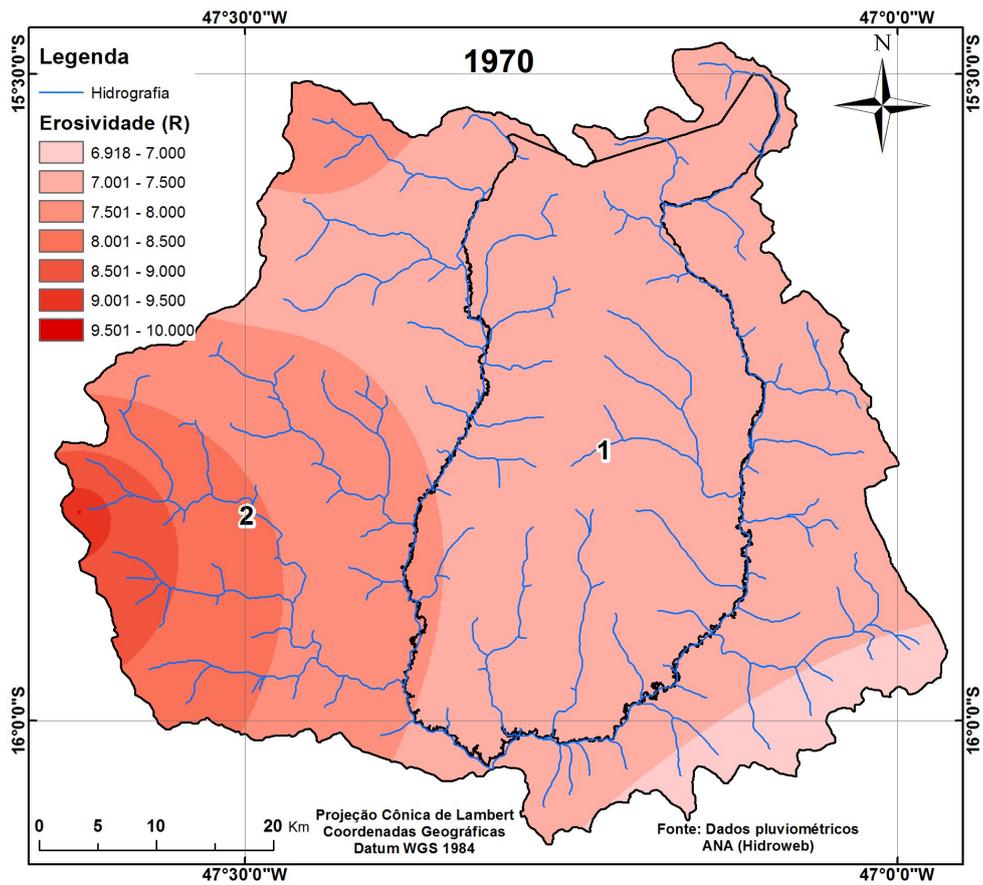
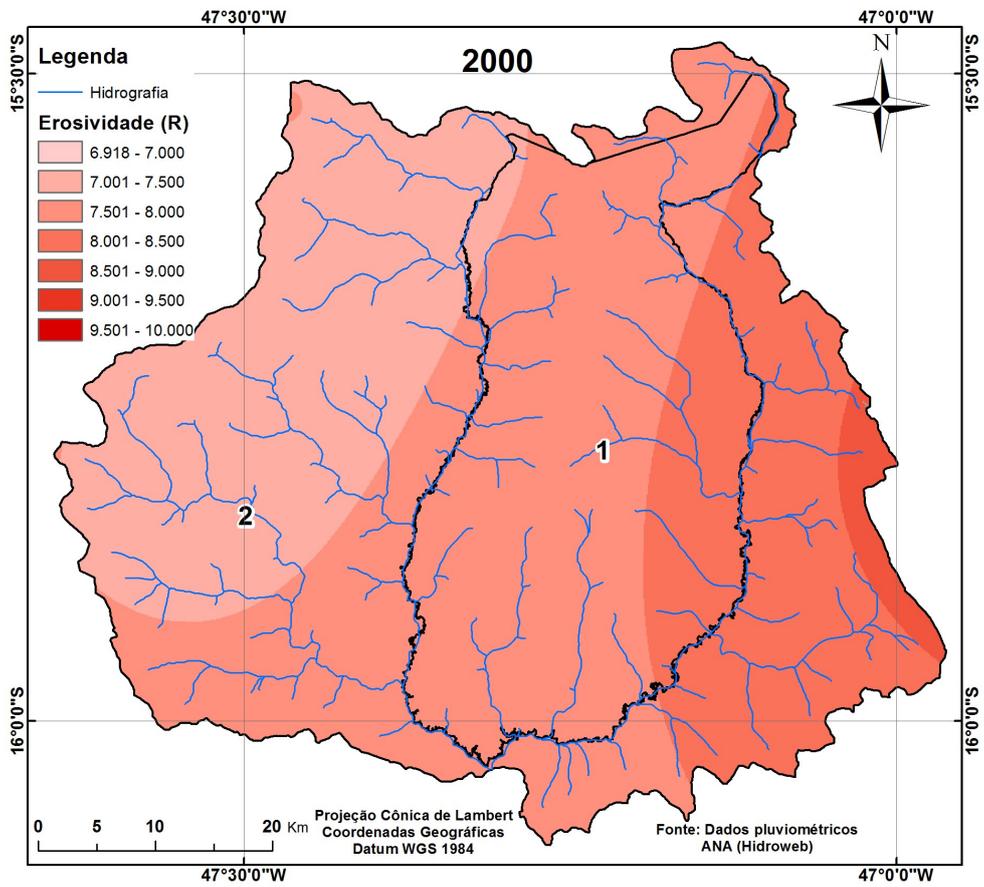
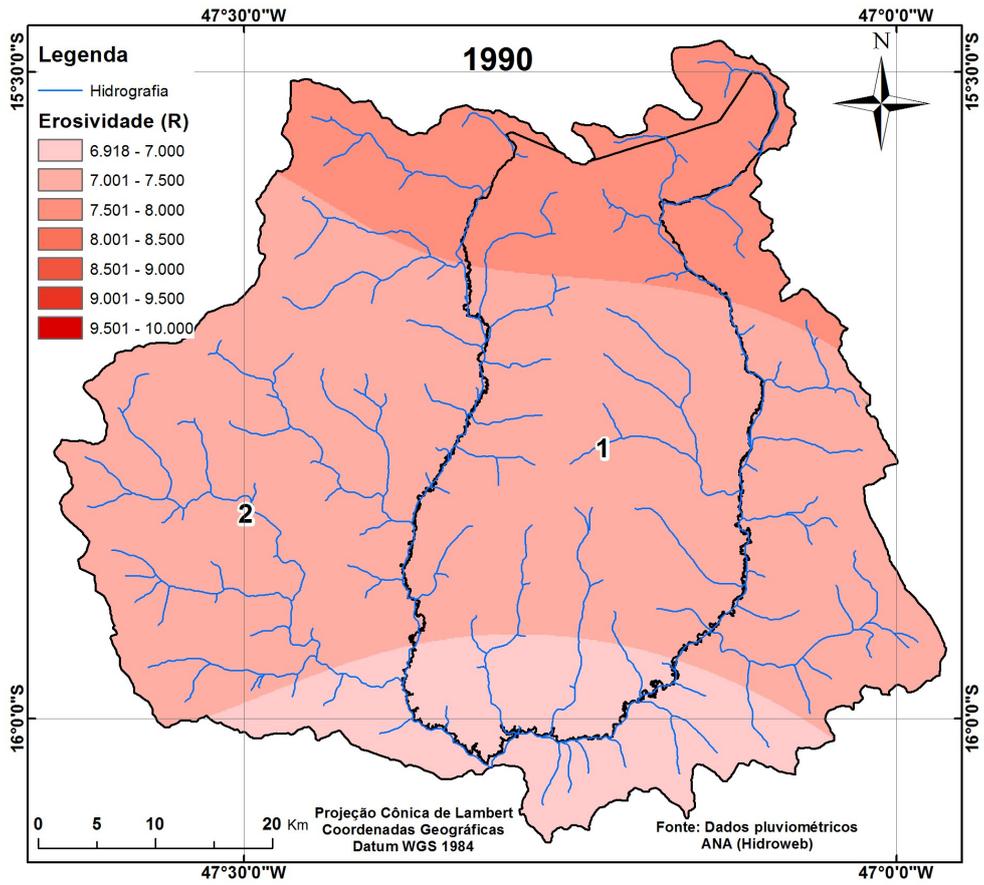


Figura 8. Mapa multitemporal da Pluviosidade. (Elaborado pelo autor).

O índice EI_{30} demonstrou ser uma boa ferramenta para estimar a erosividade provocada pela chuva, e pode continuar sendo utilizado como o fator R da EUPS. O índice R foi calculado para as cinco décadas em questão (Figura 9) e seguiu a distribuição espacial da pluviosidade média atingindo valores entre 6.900 e 10.000 MJ.mm/ha.h.ano.

De certo a chuva ao incidir sobre uma superfície de solo exposto, ocasiona uma maior perda de solo que em áreas com cobertura vegetal, principalmente quando se trata da vegetação natural (SALOMÃO, 1989). Por esta razão é possível observar que na área militar a perda de solo foi menor que nas áreas adjacentes, por conta da preservação ambiental. De forma que se pode observar uma faixa ao longo da CIF, com menores índices de perda de solo, o que não ocorre nas áreas que a tangenciam.





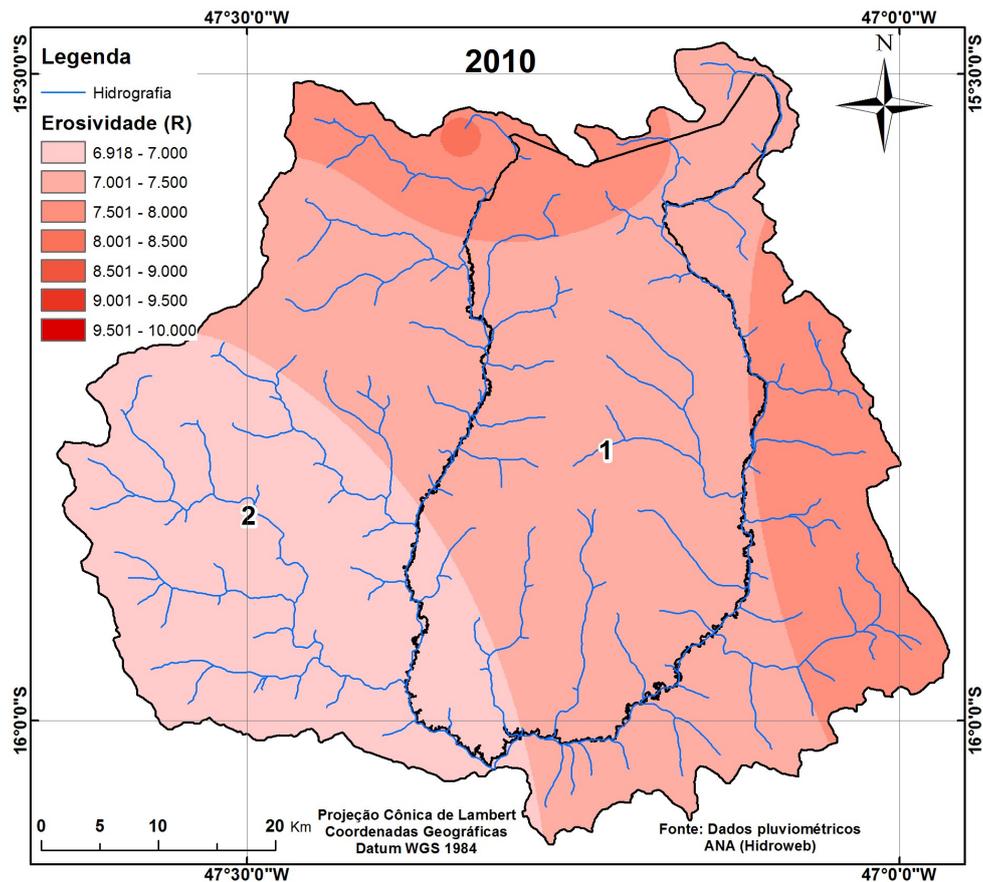


Figura 9. Fator R (EROSIVIDADE, unidade em MJ.mm/ha.h.ano). Elaborado pelo autor.

FATOR LS

A partir da interpolação das curvas de nível, foi possível gerar a declividade e o fator LS para a bacia do Alto Rio Preto. A dificuldade expressa na literatura para obtenção do fator LS em grandes áreas exigiu foco na escolha das fórmulas e procedimentos de adequação das mesmas ao ambiente de SIG.

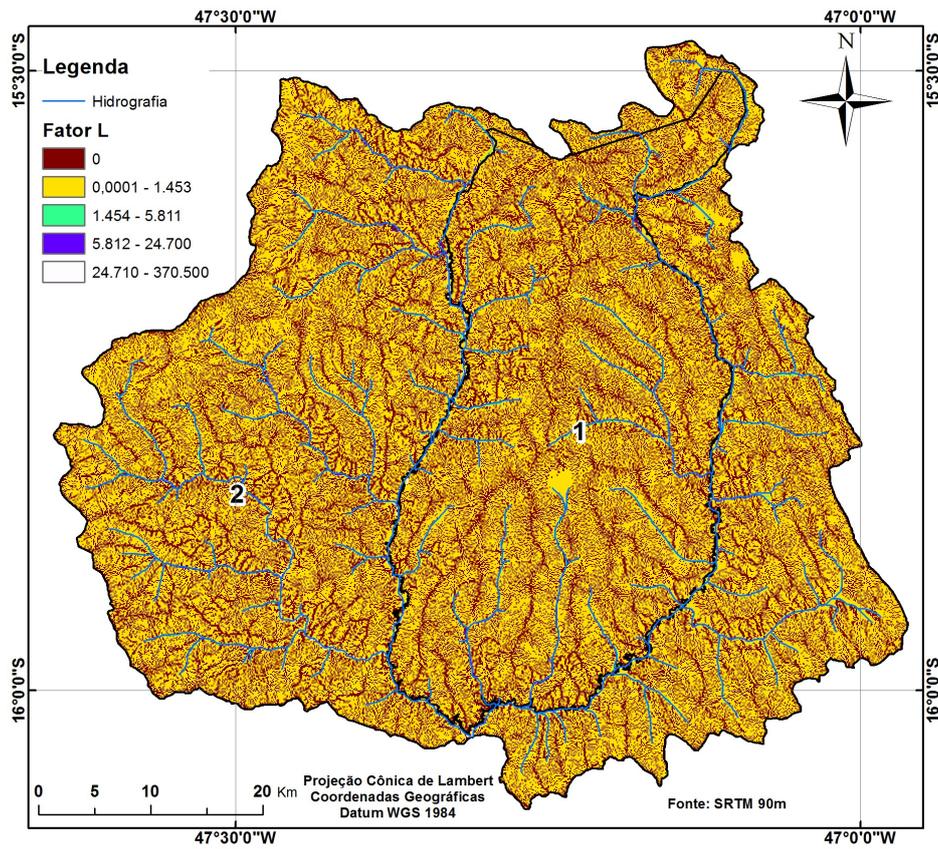


Figura 10. Fator L Encostas (unidade em m).

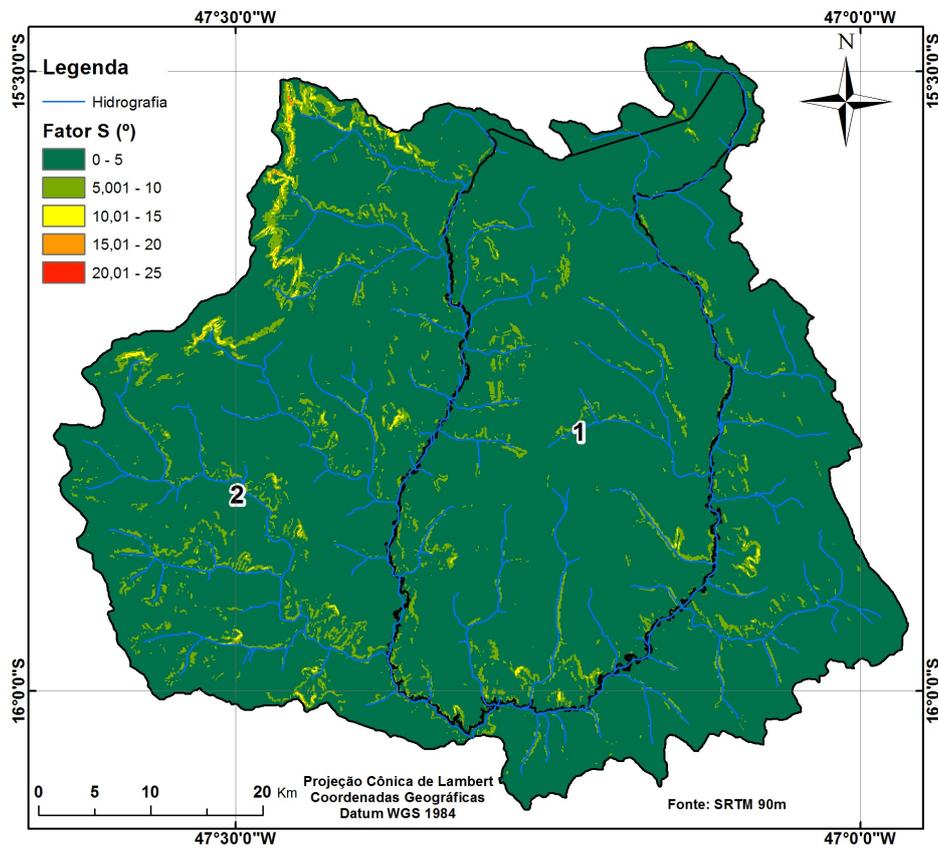


Figura 11. Fator S Declividade (unidade em graus).

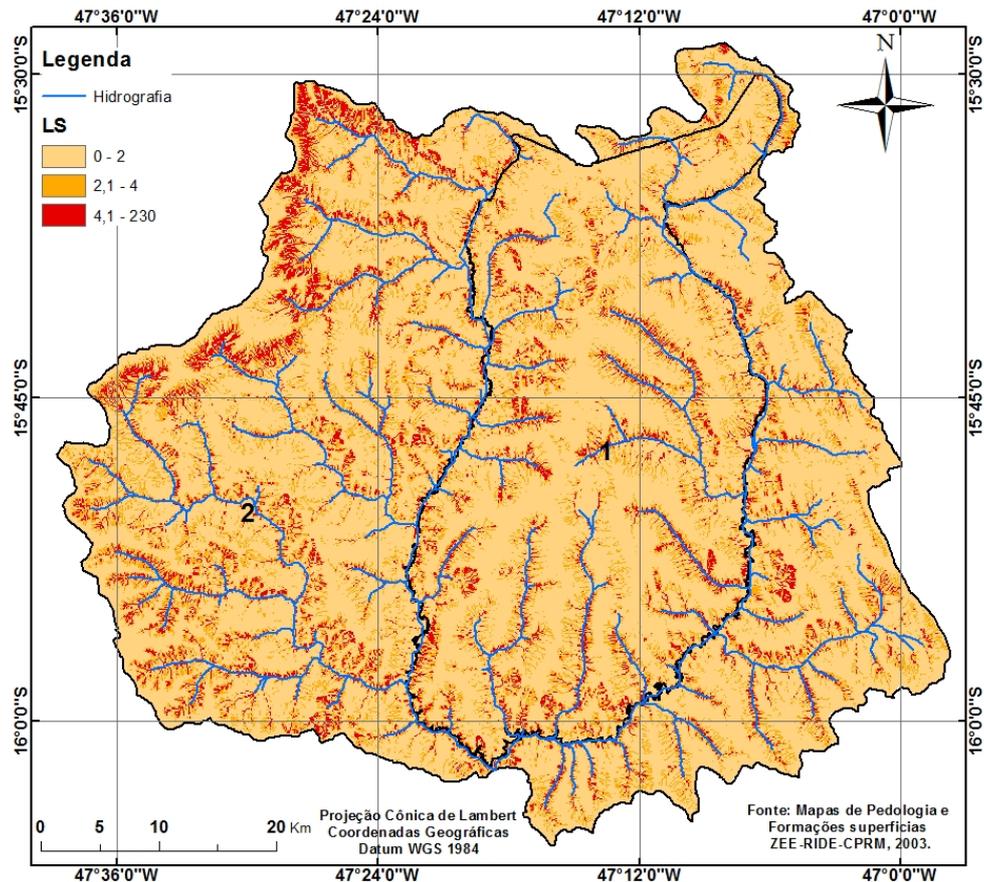


Figura 12. Mapa fator LS para encostas e declividade. Elaborado pelo autor.

Os resultados apresentam variabilidade conforme observado nos valores de desvio padrão, coeficiente de variação e variância da amostra. Isso em virtude da variação dos valores de L e S dentro de uma unidade complexa como uma bacia hidrográfica.

O fator $S = \text{fator grau do declive da EUPS}$, definido pela relação de perda de solo entre uma parcela com declive qualquer e outra com declive de $0,09 \text{ mm}^{-1}$ (parcela-padrão) e $\theta = \text{ângulo de declive do terreno}$.

A determinação informatizada (automática) do fator topográfico (LS), a partir da adaptação do fator de comprimento de vertente (L) da EUPS, segundo a metodologia que considera o fluxo acumulado na vertente, mostra-se viável na escala estudada.

O Fator de tamanho de encosta (L) foi extraído diretamente do Modelo Digital do Terreno (MDT) a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Formato GEOTIFF (16 bits), Resolução espacial: 90 metros, Sistema de Coordenadas Geográfica Datum: WGS-84, (conforme Figura 10) e seguiu a distribuição espacial da pluviosidade média atingindo

valores entre 0 e 370.500m, sendo mais próximo dos índices de 0 a 0,0001.

O Fator de declividade (S) foi extraído diretamente do Modelo Digital do Terreno (MDT) a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Formato GEOTIFF (16 bits), Resolução espacial: 90 metros, Sistema de Coordenadas Geográfica Datum: WGS-84, conforme (Figura 11) e seguiu a distribuição espacial da pluviosidade média atingindo valores entre 0 a 5 graus na maior porção, tendo valores de 10,01 a 15 graus, nas encostas.

O Fator Topográfico (LS) foi extraído diretamente do Modelo Digital do Terreno (MDT) a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Formato GEOTIFF (16 bits), Resolução espacial: 90 metros, Sistema de Coordenadas Geográfica Datum: WGS-84, conforme (Figura 12) e seguiu a distribuição espacial da pluviosidade média atingindo valores entre 0 a 2 (baixo), 2 a 4 (médio) e >4 alto, sendo que na porção noroeste da bacia, apresenta os maiores valores acima de 4. Observando as porções do relevo próximas as drenagens com seu respectivo grau de vulnerabilidade onde os mais altos valores estão localizados nas áreas dissecadas de vale, o fator LS é um bom indicativo de áreas susceptíveis à erosão, como também foi diagnosticado pelo trabalho de Farinasso *et al* (2004).

FATOR K

Para a bacia do alto Rio Preto foi observado que as áreas mais susceptíveis aos processos erosivos estão localizadas nos divisores de drenagem, por isso se faz necessário a conservação da mata galeria e ciliar. O cálculo do fator topográfico em ambiente computacional foi de grande importância para que, posteriormente, com a obtenção dos outros fatores da fórmula da EUPS, fornecessem suporte para a obtenção dos mapas de erosão atual e erosão potencial para bacias deste porte ou maiores, objetivando assim, encontrar mecanismos e subsídios para tomada de decisões, e utilizar de maneira sustentável os recursos naturais de uma bacia. O CIF apresentou valores de erodibilidade K acima das demais áreas externas. Porém a preservação da área militar garante os baixos índices de susceptibilidade à erosão.

Os valores de K foram obtidos de acordo com as seguintes classes de solo: Cambissolos (CX), valor médio 24%; Gleissolos (G), valor médio 1%; Latossolos vermelho (LV) valor médio 34%; Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA), valor médio 35%; e Neossolos Quartzarênicos (RQ), valor médio 7%, calculados em ha.

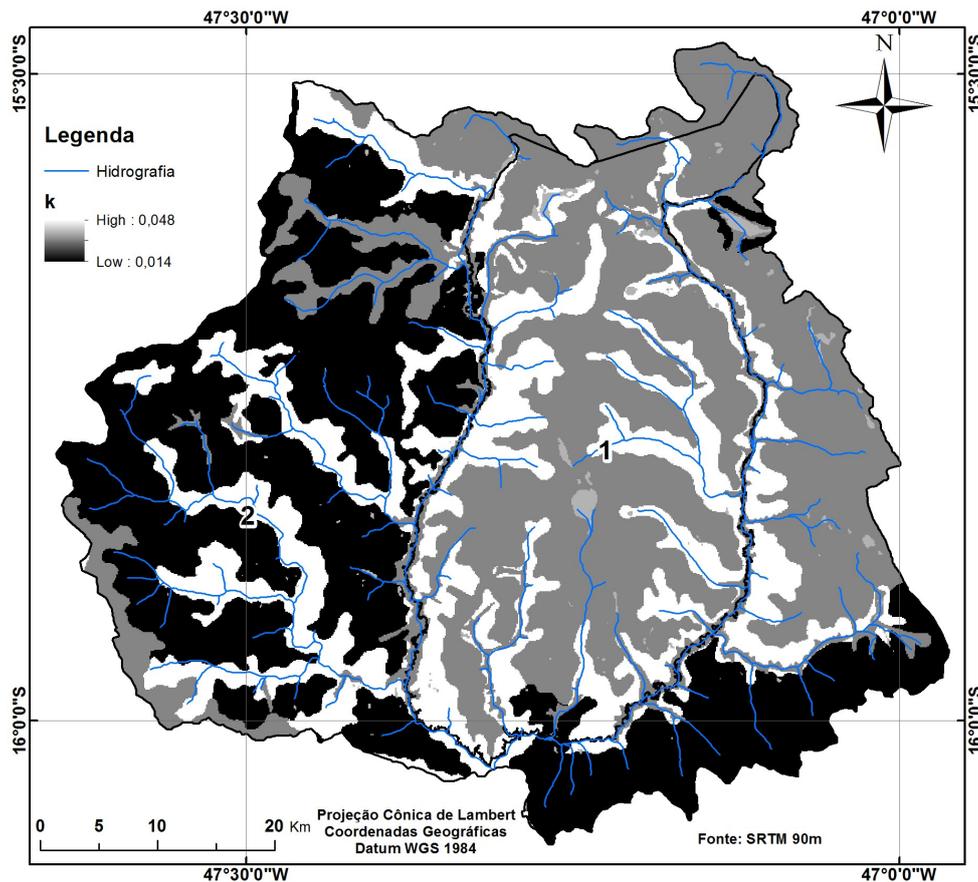


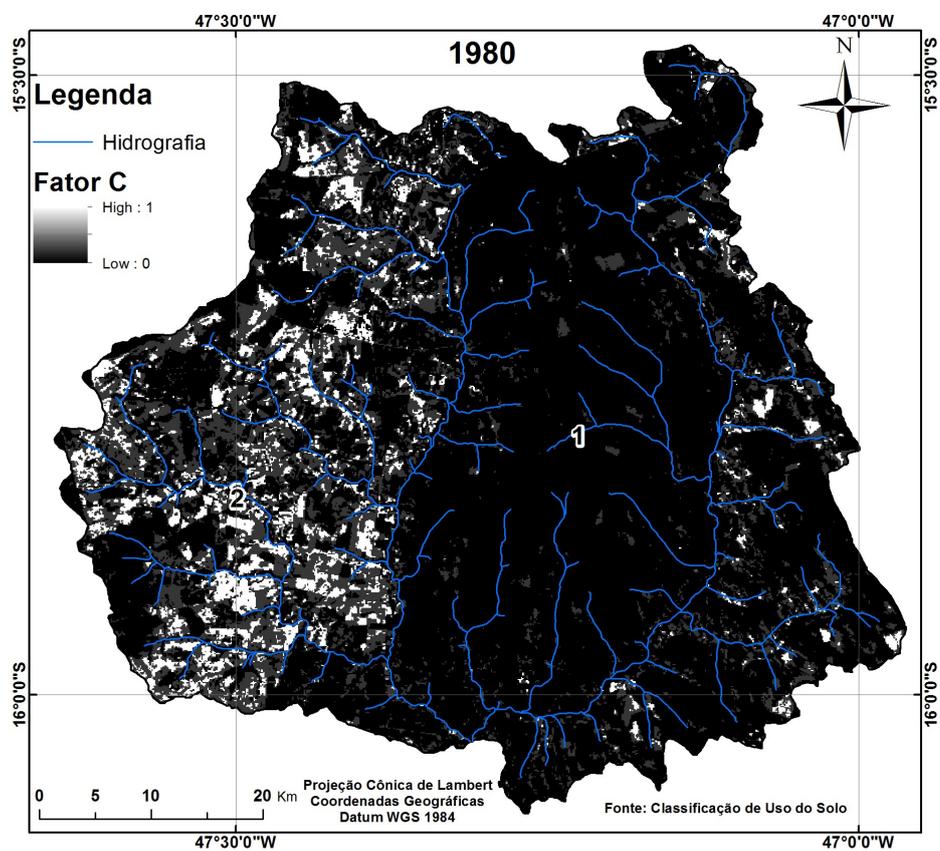
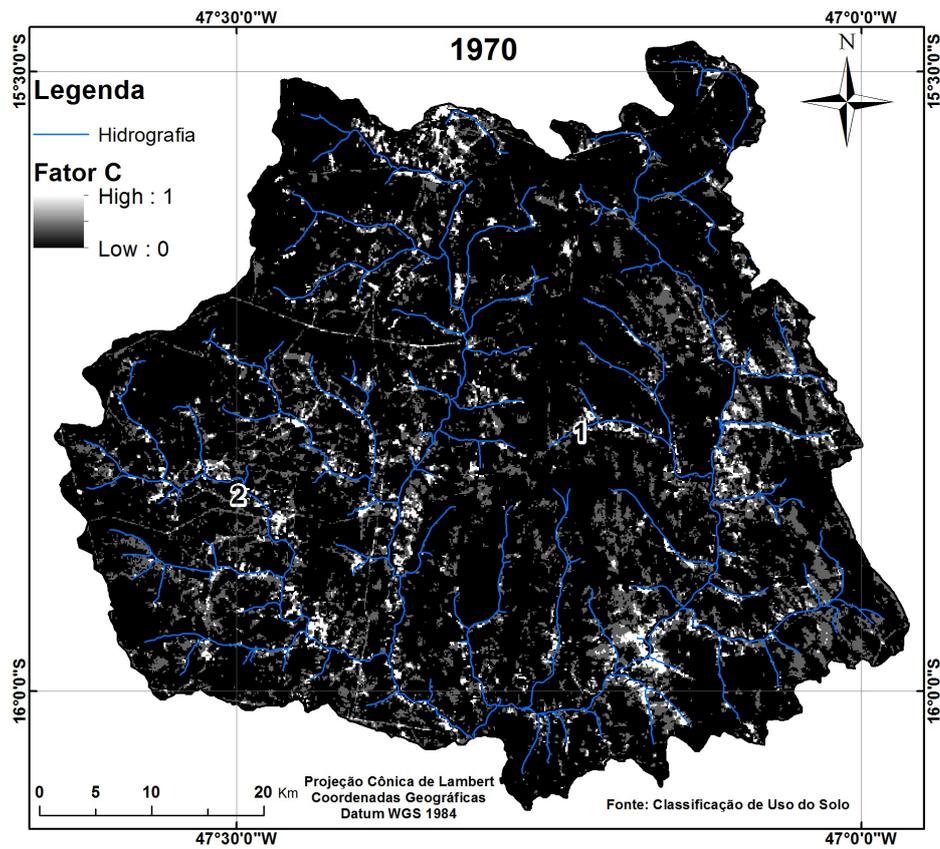
Figura 13. Fator K ERODIBILIDADE (to/ha/ano). Elaborado pelo autor.

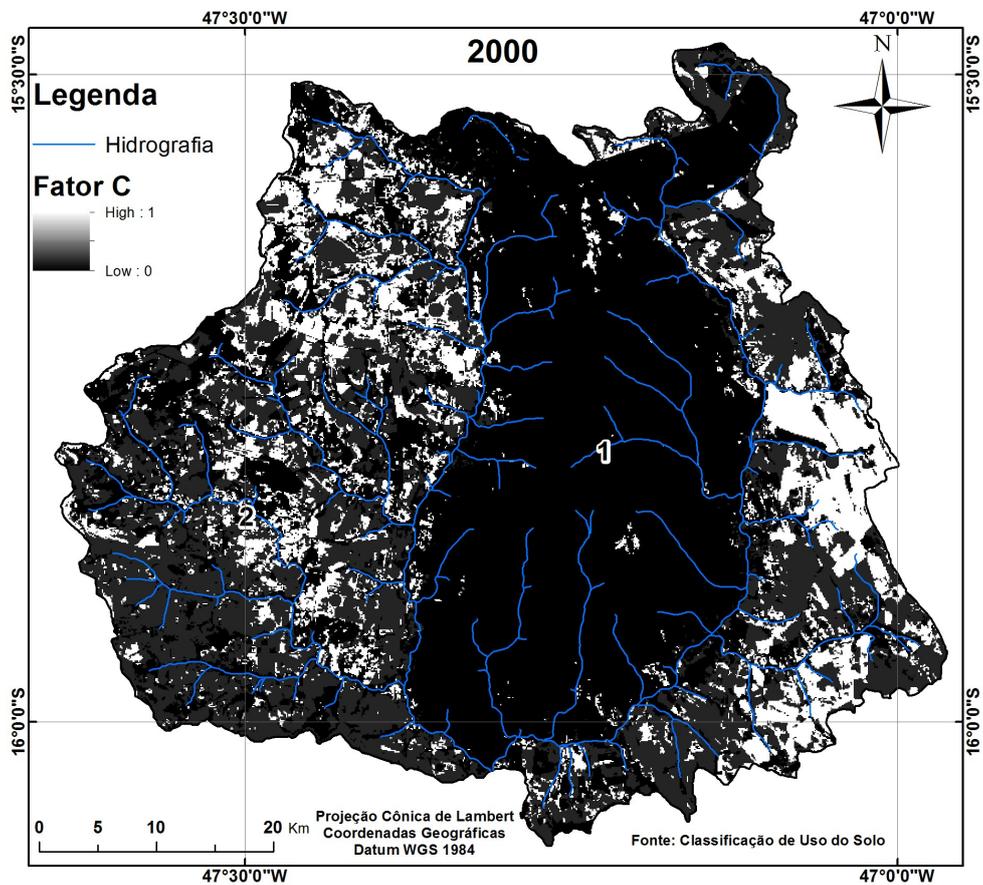
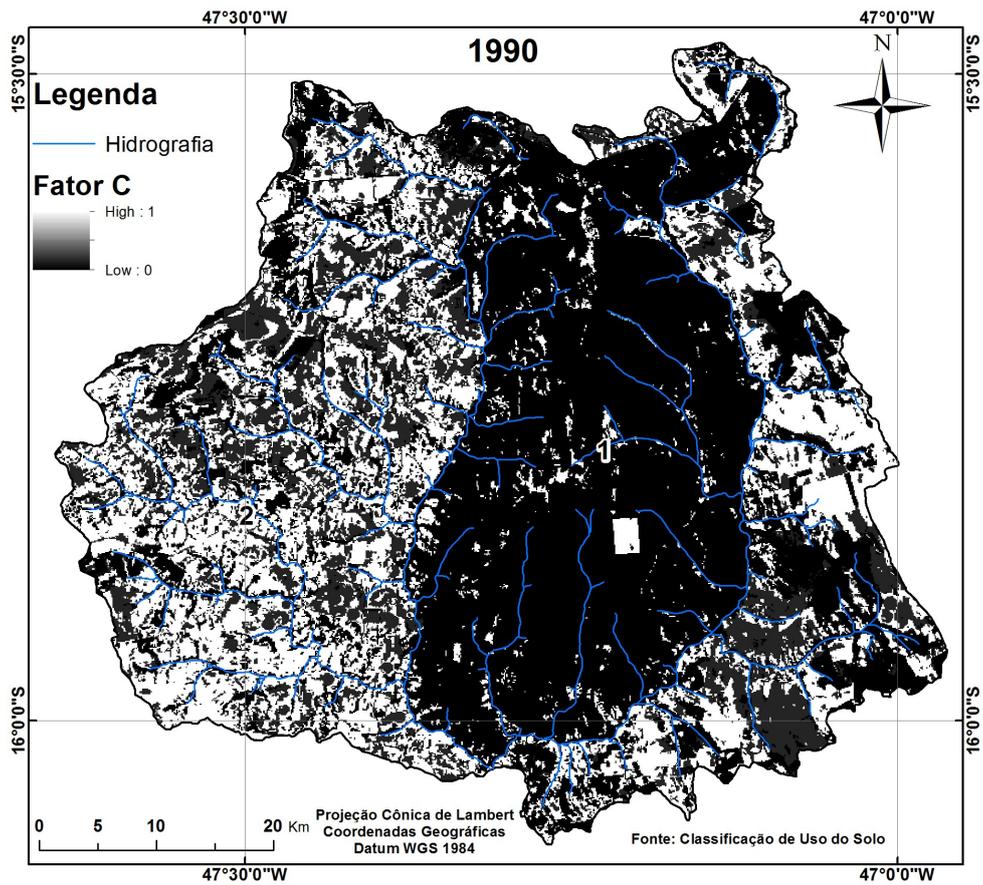
FATOR CP

Em 1970 a maior parte da área da bacia era coberta pelo bioma Cerrado, que veio diminuindo, devido ao aumento da expansão da agropecuária e, por conseguinte, do solo exposto, que praticamente dominou a subárea 2, principalmente a partir de 1980. É nítido o avanço da área urbana do Município de Formosa/GO, principalmente depois do ano 2000. A mata galeria sofreu com as consequências deste avanço, principalmente a partir de 2010. Entre 2010 a 2016, o cerrado restante da subárea 2 foi devastado pelo avanço da agropecuária, enquanto na subárea 1 praticamente não houve alteração na vegetação.

O fator de uso e manejo do solo (fator C), para o período de 1970 a 2016 fora calculado por meio dos dados de erosividade e perdas de solo para cada uma das chuvas consideradas. Os valores evidenciam a necessidade do controle e planejamento em relação ao crescimento das culturas de plantio, já que a sua expansão causa prejuízos ao solo e água da região. Em meio à urbanização, é necessário reverter ou no mínimo conter a impermeabilização das cidades, para que a região recupere parte de sua capacidade de infiltração, diminuindo assim a erosão. A inserção da população no processo de valoração das áreas verdes é essencial para o reconhecimento dos potenciais serviços ecossistêmicos de

formações florestais como o Cerrado.





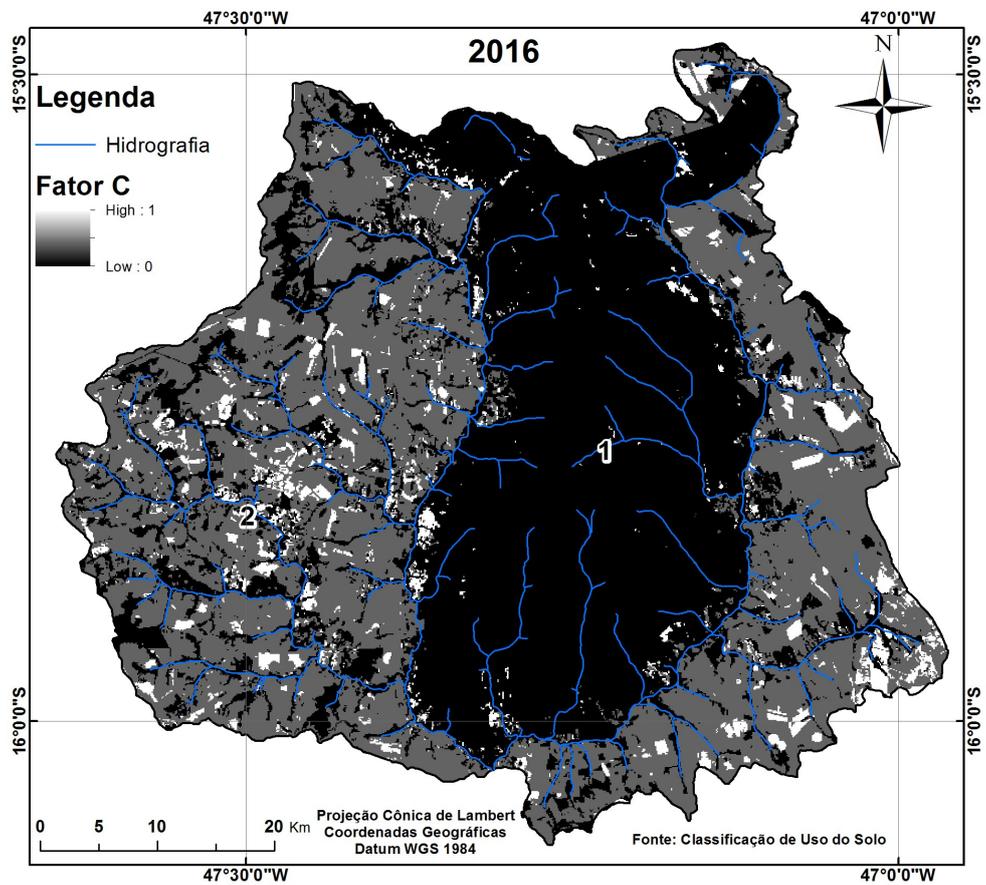
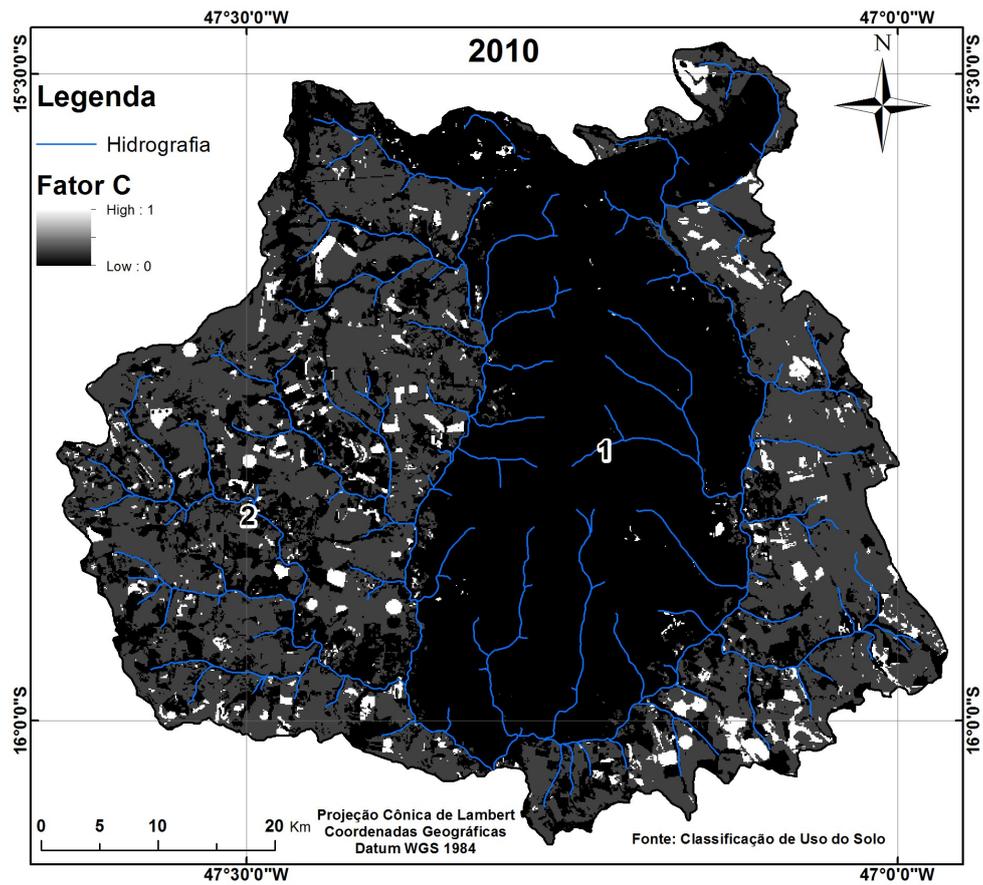


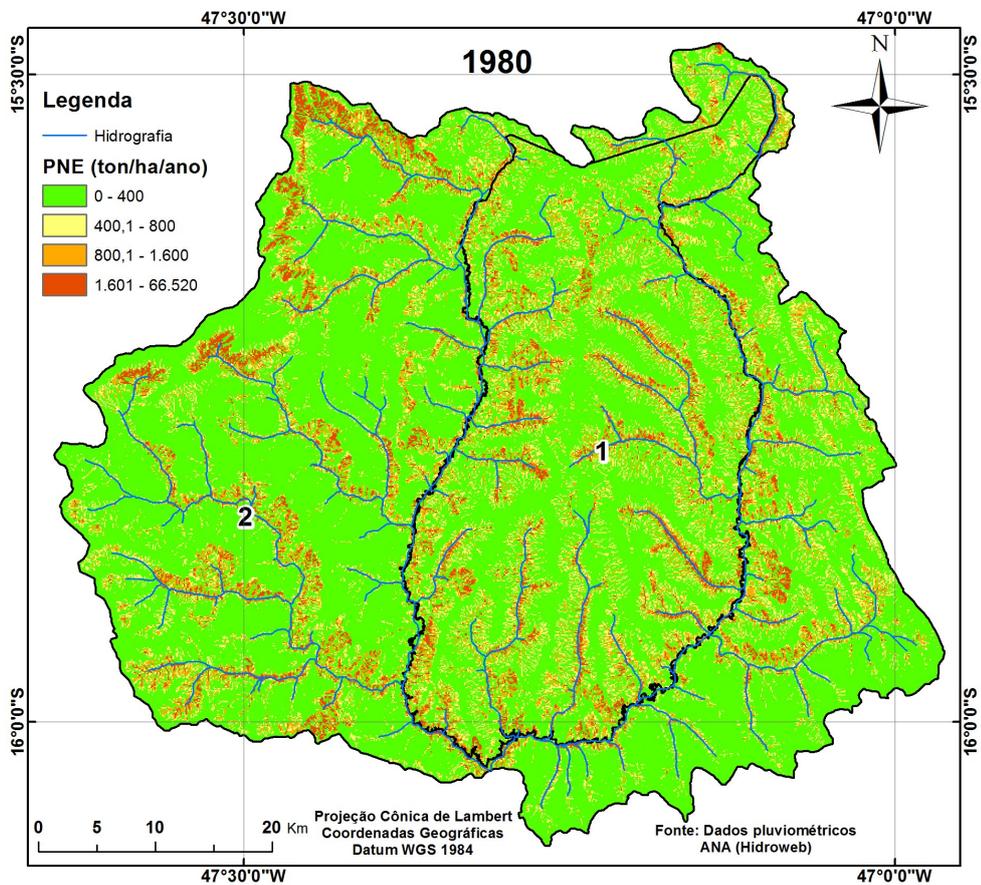
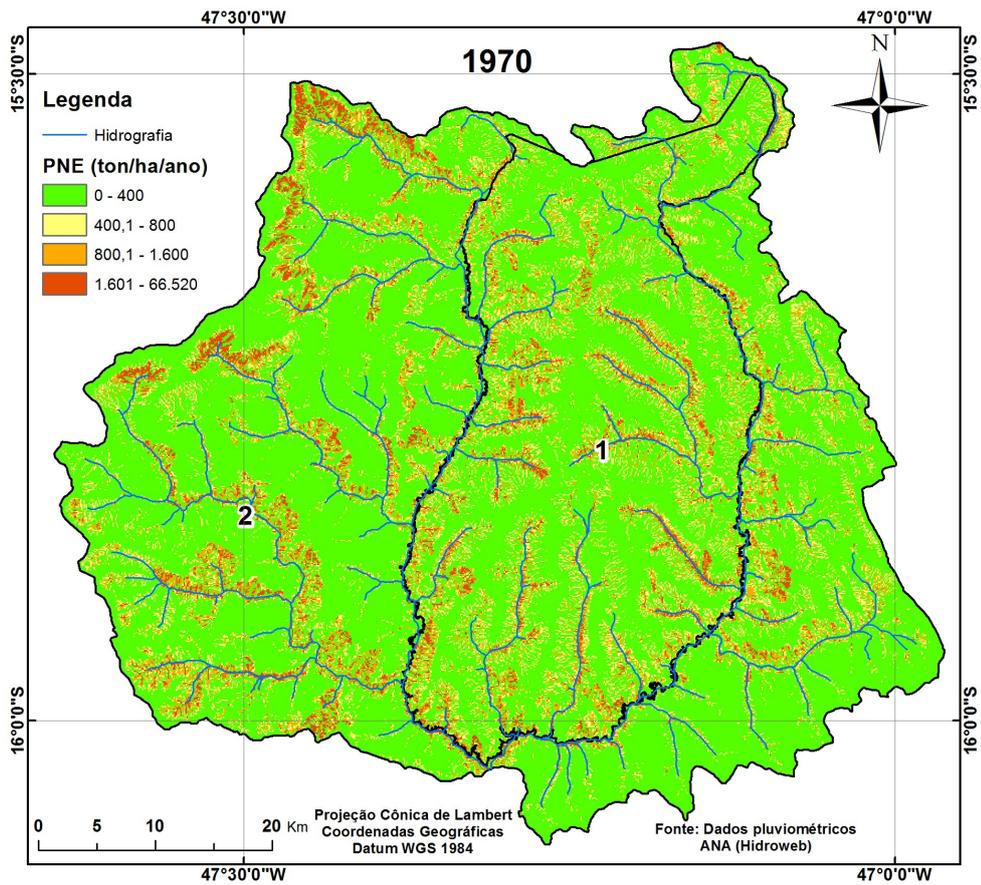
Figura 14. FATOR C (uso e manejo do solo). (Elaborado pelo autor).

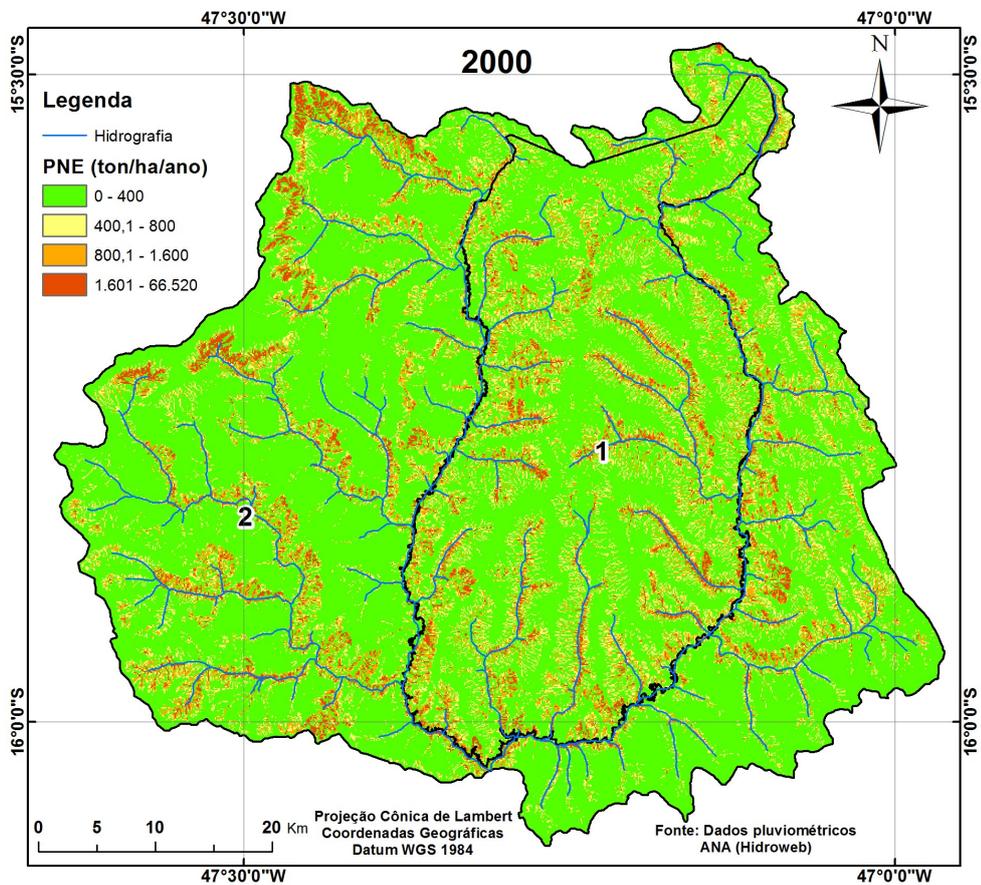
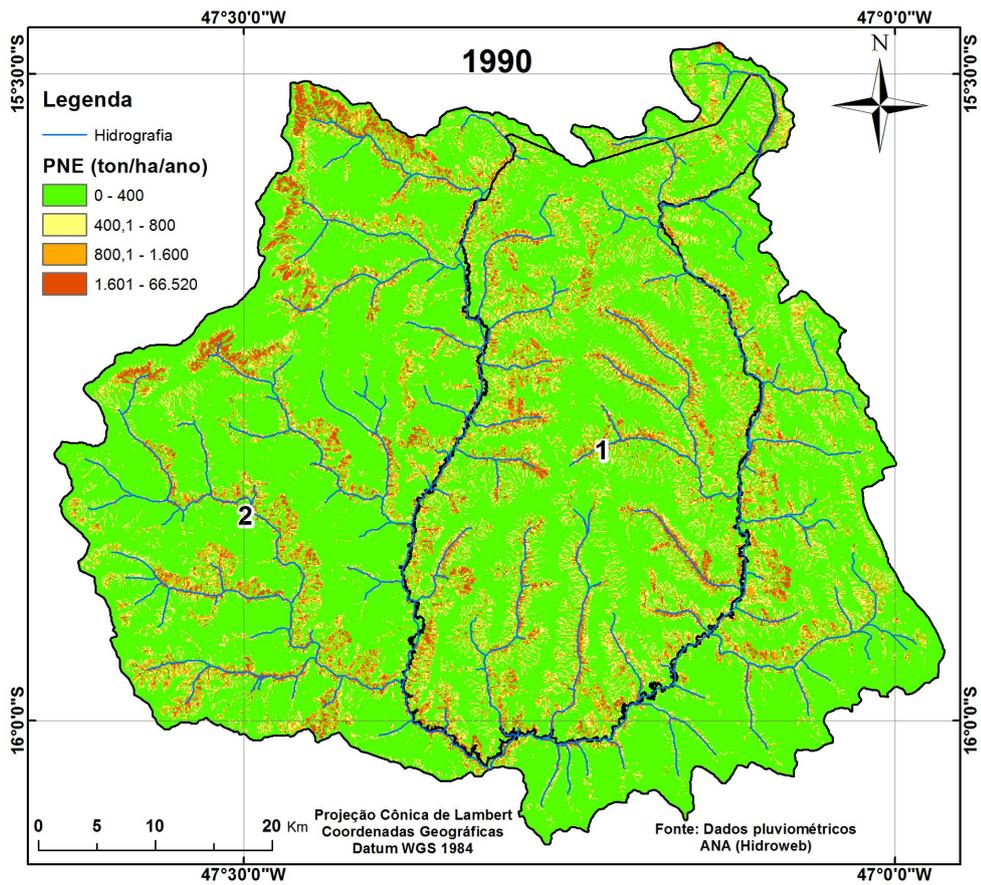
PNE

Através da análise qualitativa das classes do PNE (Potencial Natural à Erosão), a bacia hidrográfica do alto Rio Preto (GO/DF/MG) apresentou pouca variação quanto à perda de solos, o potencial natural de perda de solo Nulo a Moderado chegou a 74%, o potencial natural de perdas de solo médio foi de 13%, o potencial natural de perda de solo médio a forte foi de 8%, e o potencial natural de perda de solo forte a muito forte foi de 5% da área total da bacia, no período de 1970 a 2016, conforme indicado no Gráfico 11 e Tabela 18.

O PNE foi calculado para as cinco décadas (Figura 15), e seguiu a distribuição espacial do índice pluviométrico médio, alcançando valores entre 0 e 66.520 to/ha.ano, de forma que os índices são categorizados da seguinte forma: 0 a 400 (nula a moderada) que representa 74% da área da bacia; 400,1 a 800 (média), que representa 13% da área da bacia; 800, 1 a 1600 (média a forte) que representa 8% da bacia; e >1600 (forte a muito forte), que representa 5% da área da bacia.

Em 1970 a maior parte da área da bacia era coberta do bioma Cerrado, entre as décadas de 1980 a 1990 houve o aumento da expansão da agropecuária e do solo exposto, que predominaram na área 2, a partir de 1990. A mata galeria sofreu as consequências do uso e ocupação do solo na bacia, sendo mais expressiva entre as décadas de 1980 a 1990, com a expansão da agricultura e agropecuária. Entre 2010 a 2016, houve diminuição da exposição do solo, mas sou apenas uma pequena parcela do cerrado das subáreas 2, enquanto na subárea 1, praticamente não houve mudança no cenário do solo exposto, permanecendo sempre preservada a área por estar sendo usada unicamente por atividades militares.





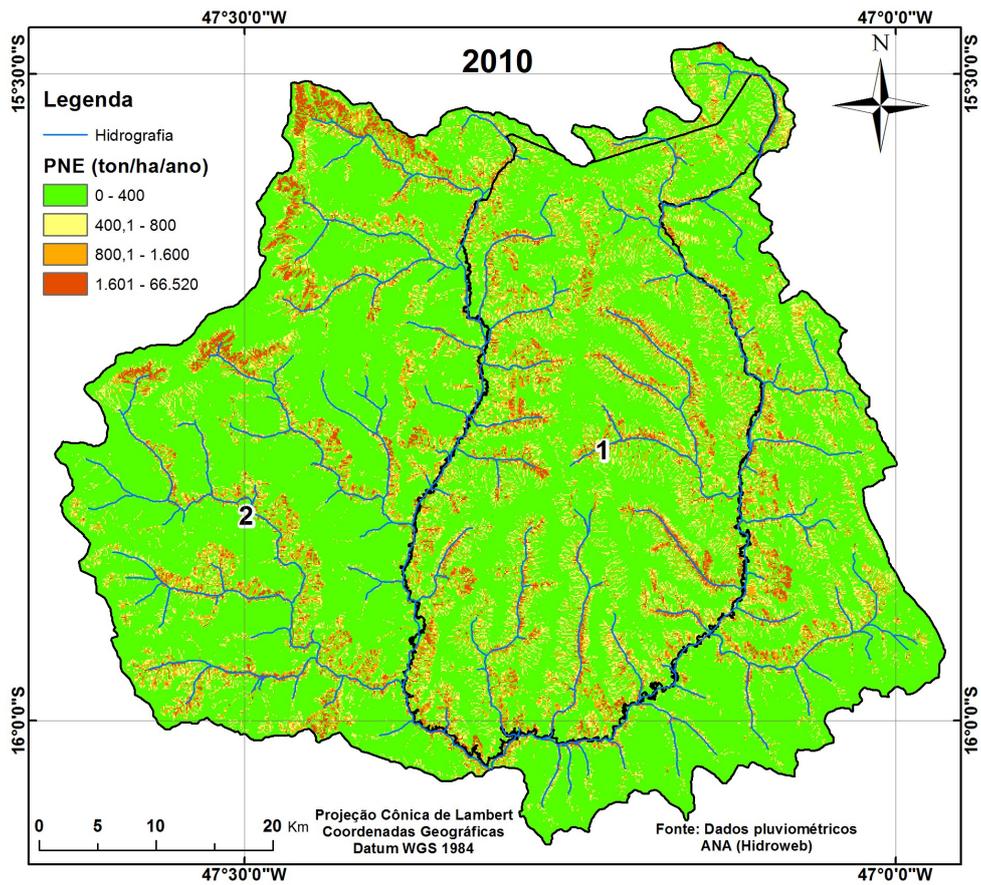
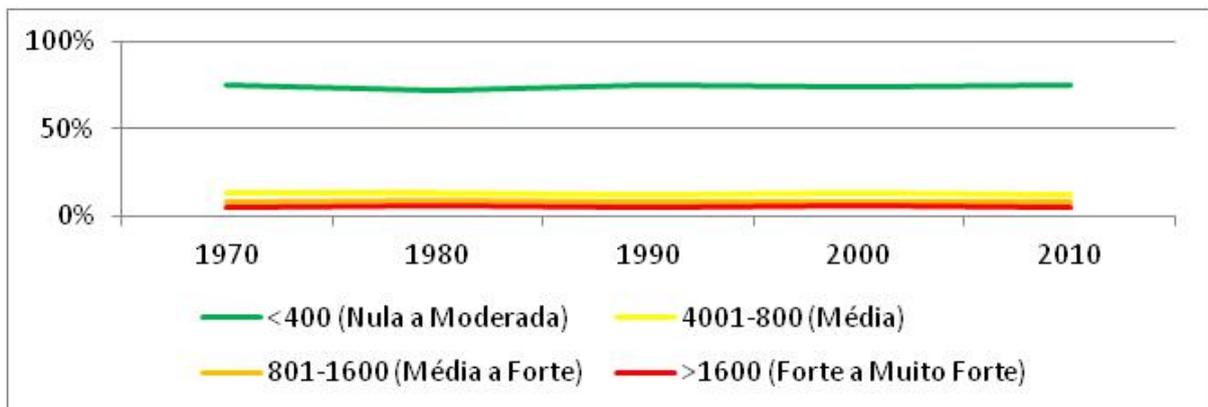


Figura 15. PNE ton/ha/ano.

Tabela 9. PNE

| PNE | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| Classe | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | Média |
| <400 (Nula a Moderada) | 75% | 72% | 75% | 74% | 75% | 74% |
| 400,1-800 (Média) | 13% | 13% | 13% | 13% | 12% | 13% |
| 800,1-1600 (Média a Forte) | 8% | 9% | 7% | 8% | 7% | 8% |
| >1600 (Forte a Muito Forte) | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% |

Gráfico 2. PNE



Os dados demonstram que os fatores físicos classificam a bacia fracamente

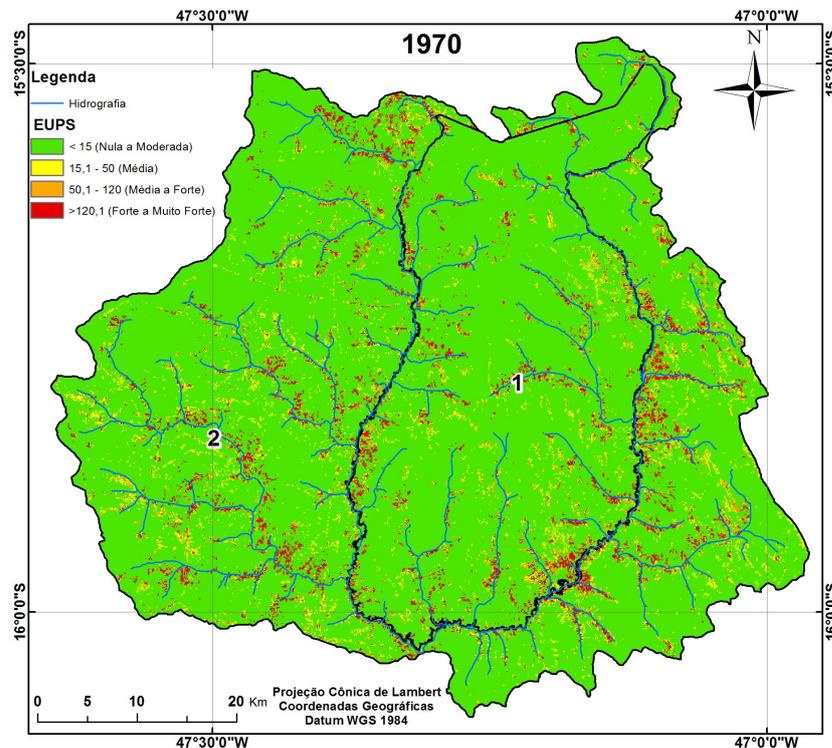
susceptível a erosão, as localidades mais frágeis ao processo representam pequenas porções da bacia. De forma que o fator mais prejudicial para a perda de solo na área tem sido a ação antrópica.

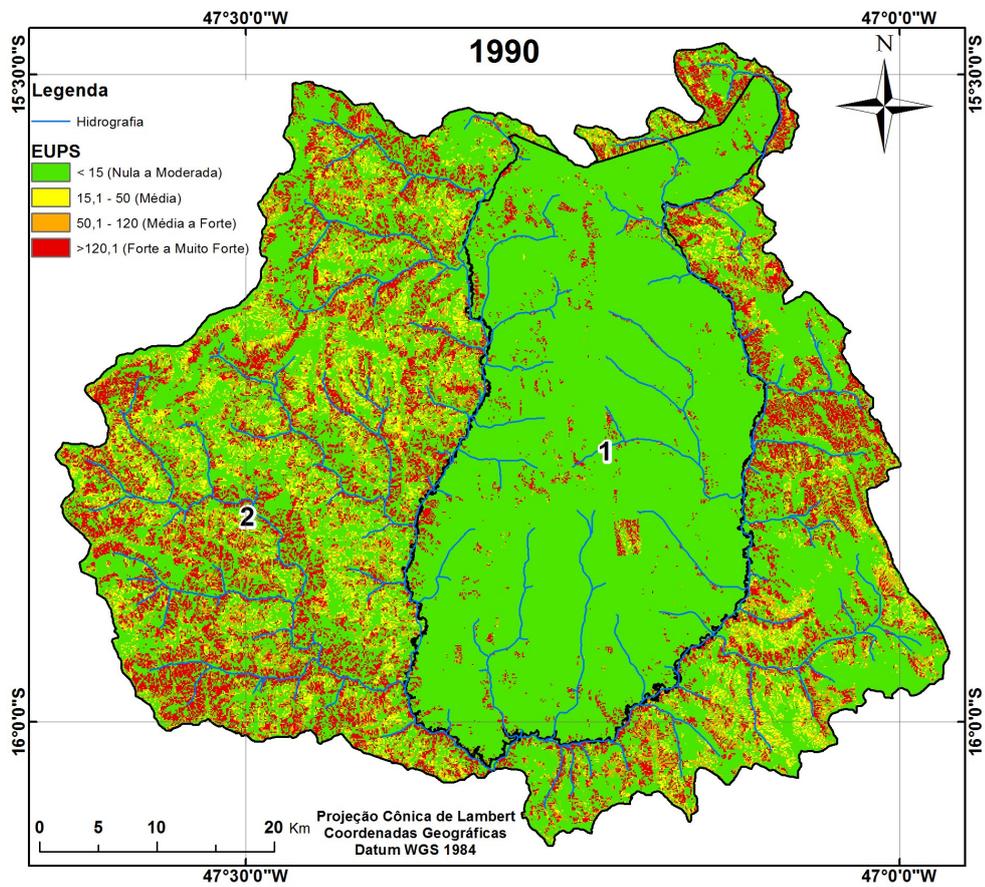
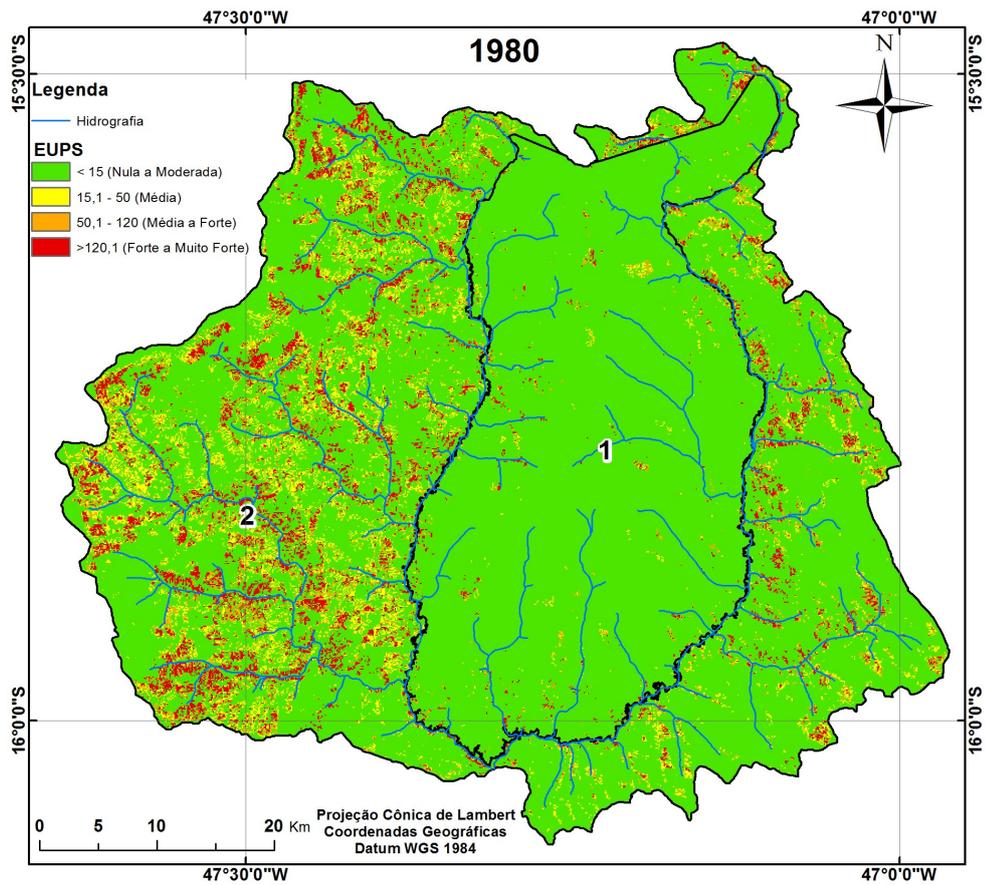
USLE/EUPS

O uso de dados SRTM para a obtenção do fator topográfico da EUPS, através da geração de mapas temáticos, pode ser uma alternativa viável, minimizando tempo de execução dos trabalhos para geração dos mapas, pois os resultados obtidos foram satisfatórios para as décadas de 1970 a 2016, conforme Figura 16.

A EUPS foi calculada para as cinco décadas em questão e mais o ano de 2016 (Figura 16) e seguiu a distribuição espacial pluviométrica média, com valores entre <15 a >120,1 ton/ha.ano, sendo os índices de <15 (nula a moderada), 15,1 a 50 (média), 50,1 a 120 (média a forte) >120 (forte a muito forte).

Os mapas, Gráficos e Tabelas apresentados demonstram que o avanço da agricultura, pecuária e urbanização tem intensificado o processo de perda de solo e, por conseguinte de erosão. Com os resultados alcançados observa-se que as áreas que margeiam as drenagens são as mais susceptíveis, e por este motivo carecem de maior atenção. Ao longo das décadas estudadas observa-se a tendência natural de aumento de áreas urbanas, que exigem mais recursos naturais, impactando diretamente os sistemas naturais.





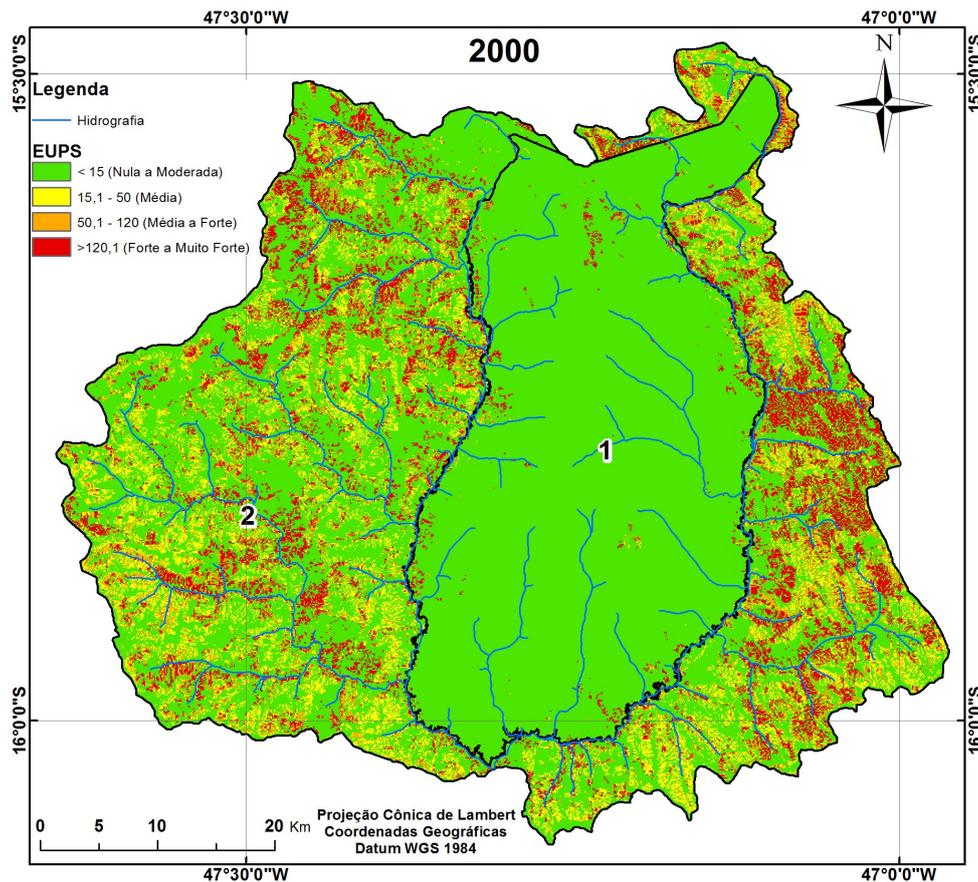


Figura 16. EUPS (elaborado pelo autor).

As áreas de uso militar, como o objeto desta pesquisa, tem ajudado a conter avanços negativos que atuam na degradação do bioma. Observa-se que ao longo das décadas, a área do CIF não teve alteração da vegetação, o que ajudou a impedir a degradação e perda de solo, ou seja, a maior parte dos efeitos da erosão dentro da área foi contida pela vegetação, como indicado nos mapas.

Tabela 10. Toda a bacia inserida

| Classe | Bacia | | | | | |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2016 |
| <15 (Nula a Moderada) | 90% | 86% | 73% | 79% | 79% | 75% |
| 15,1-50 (Média) | 4% | 5% | 6% | 11% | 11% | 13% |
| 50,1-120 (Média a Forte) | 3% | 4% | 5% | 6% | 6% | 6% |
| >120 (Forte a Muito Forte) | 4% | 5% | 16% | 4% | 4% | 5% |

Gráfico 3. Toda a bacia

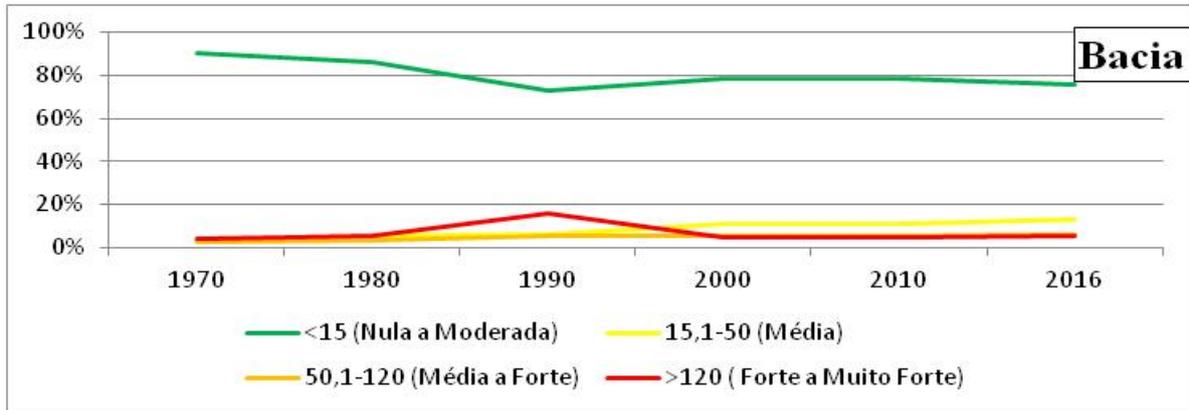


Tabela 11. Área do CIF

| CIF | | | | | | |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Classe | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2016 |
| <15 (Nula a Moderada) | 92% | 98,1% | 96,3% | 98,5% | 99,1% | 98,1% |
| 15,1-50 (Média) | 3% | 0,6% | 0,1% | 0,2% | 0,2% | 0,3% |
| 50,1-120 (Média a Forte) | 2% | 0,7% | 0,3% | 0,3% | 0,3% | 0,4% |
| >120 (Forte a Muito Forte) | 3% | 0,7% | 3,3% | 1,1% | 0,4% | 1,2% |

Gráfico 4. Área do CIF

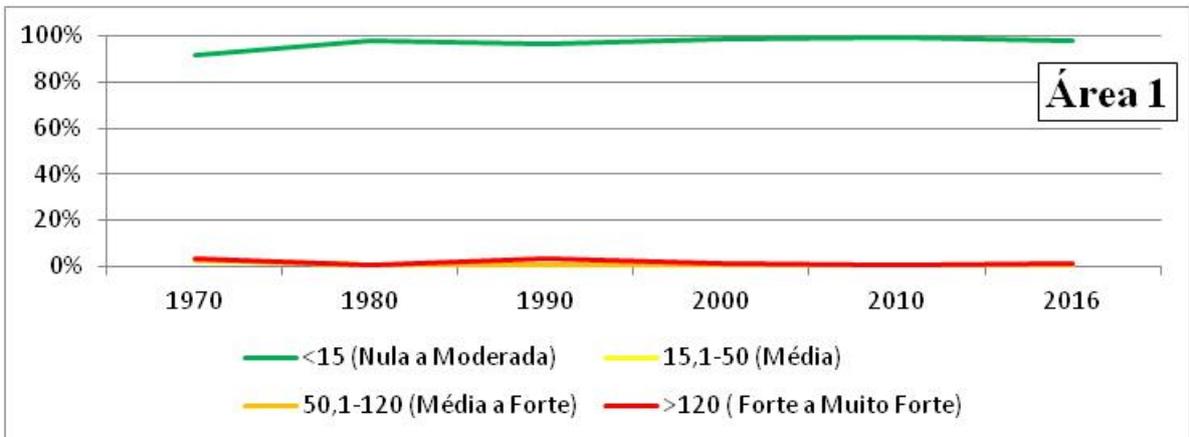
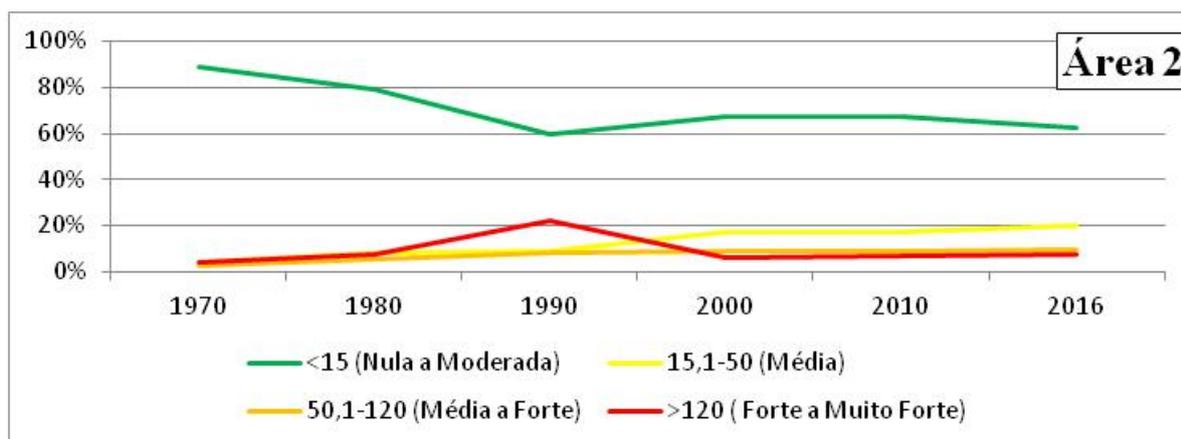


Tabela 12. Área 2 fora do CIF

| Fora CIF | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Classe | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2016 |
| <15 (Nula a Moderada) | 89% | 79% | 60% | 67% | 67% | 63% |
| 15,1-50 (Média) | 4% | 8% | 9% | 18% | 18% | 20% |
| 50,1-120 (Média a Forte) | 3% | 5% | 8% | 9% | 9% | 10% |
| >120 (Forte a Muito Forte) | 4% | 8% | 22% | 6% | 7% | 8% |

Gráfico 5. Área 2 fora do CIF

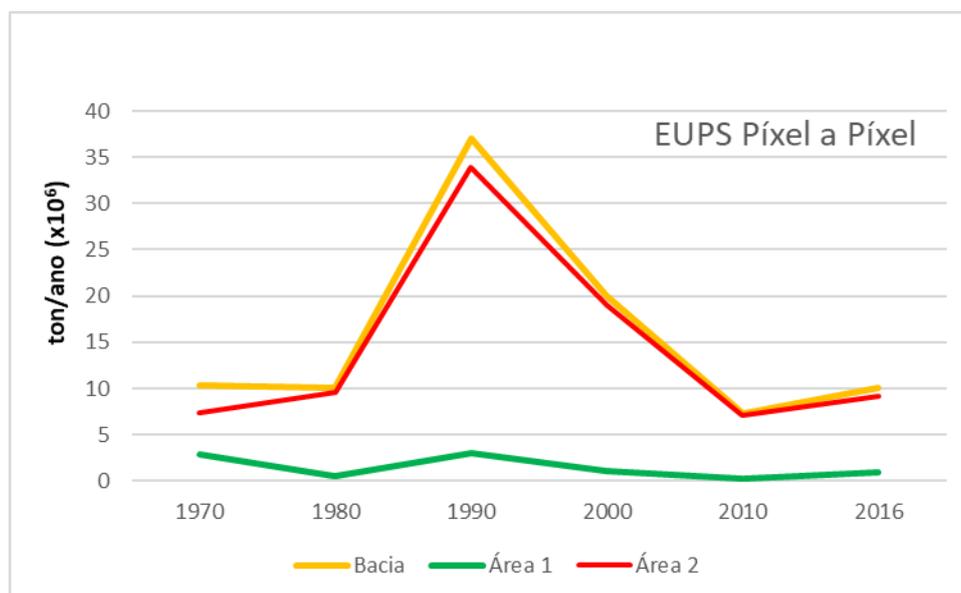


Verifica-se que com a preservação da área do CIF, houve uma amortização dos impactos para a área da bacia. A área do CIF influencia positivamente o seu entorno, mas quando comparamos o mesmo Gráfico medindo de pixel a pixel, verificamos que a área fora do CIF teve um aumento do solo exposto conforme Tabela 13 e Gráfico 5.

Tabela 13. Toda a Bacia medida de pixel a pixel.

| PIXEL A PIXEL | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| TIPO | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2016 |
| Bacia | 10,27 | 10,05 | 37,03 | 19,97 | 7,33 | 10,11 |
| Área 1 | 2,93 | 0,47 | 3,05 | 1,01 | 0,23 | 0,98 |
| Área 2 | 7,34 | 9,58 | 33,98 | 18,96 | 7,10 | 9,13 |

Gráfico 6. Bacia medida de pixel a pixel



Os resultados gráficos do uso e cobertura do solo entre 1970 a 2016 demonstraram uma redução do cerrado entre 1970 a 1990 de cerca de 38%. Já na década 2000, depois de atingir o pico de 51%, começa a haver uma redução deste valor, chegando à 39%. O solo exposto que era em cerca de 8% na década 1970, obteve uma redução de 3% em 1980, atingindo o pico em 1990 com 26%. Este valor começou a reduzir em 2010, chegando à 25%.

A agropecuária atingiu a faixa de proteção entre 1970 e 1980 em cerca de 10%, com o pico em 1980, cerca de 15% da área protegida, e entre 1990 a 2016, houve uma redução de 4% deste percentual. A área urbana que era cerca de 13% na década inicial da pesquisa, evoluiu para 31% até 2016.

Tabela 14. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 1970

| 1970 | | | | | | |
|----------|-----------|-----|------------|-----|--------|-----|
| Classes | Área (Há) | % | Área (CIF) | % | Fora | % |
| 0-15 | 286451 | 90% | 104570 | 92% | 181881 | 89% |
| 15,1-50 | 11211 | 4% | 3006 | 3% | 8205 | 4% |
| 50,1-120 | 8029 | 3% | 2729 | 2% | 5300 | 3% |
| >120 | 12768 | 4% | 3961 | 3% | 8807 | 4% |
| | 318459 | | 114266 | | 204193 | |

Gráfico 7. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 1970

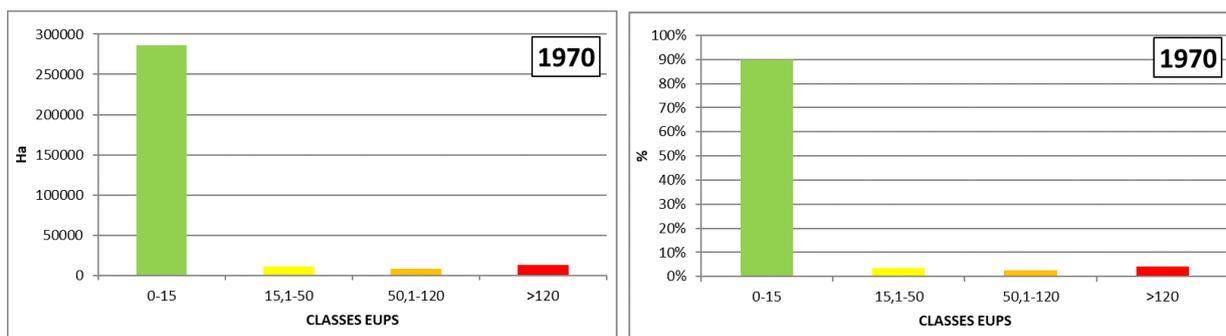


Tabela 15. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 1980

| 1980 | | | | | | |
|----------|-----------|-----|------------|-------|--------|-----|
| Classes | Área (Há) | % | Área (CIF) | % | Fora | % |
| 0-15 | 273631 | 86% | 112043 | 98,1% | 161588 | 79% |
| 15,1-50 | 17038 | 5% | 664 | 0,6% | 16374 | 8% |
| 50,1-120 | 11462 | 4% | 772 | 0,7% | 10690 | 5% |
| >120 | 16318 | 5% | 787 | 0,7% | 15531 | 8% |
| | 318449 | | 114266 | | 204183 | |

Gráfico 8. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 1980

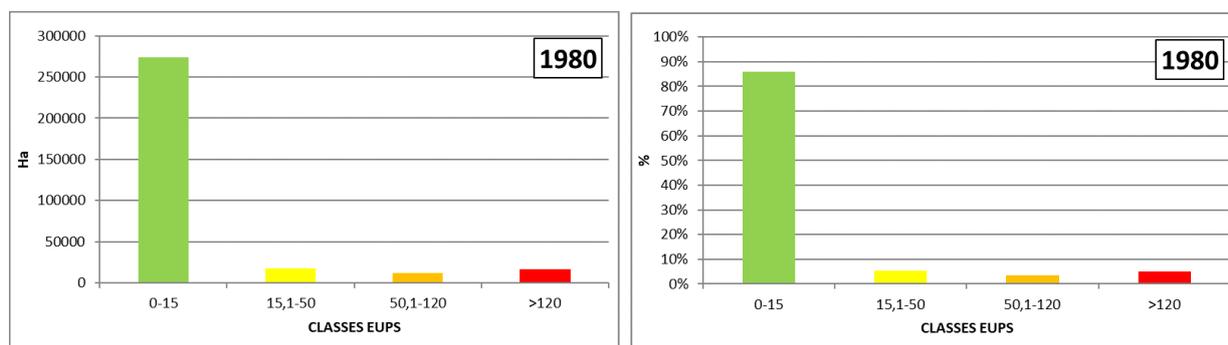


Tabela 16. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 1990

| 1990 | | | | | | |
|----------|-----------|-----|------------|-------|--------|-----|
| Classes | Área (Há) | % | Área (CIF) | % | Fora | % |
| 0-15 | 232527 | 73% | 110012 | 96,3% | 122515 | 60% |
| 15,1-50 | 18983 | 6% | 138 | 0,1% | 18845 | 9% |
| 50,1-120 | 17450 | 5% | 393 | 0,3% | 17057 | 8% |
| >120 | 49499 | 16% | 3723 | 3,3% | 45776 | 22% |
| | 318459 | | 114266 | | 204193 | |

Gráfico 9. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 1990

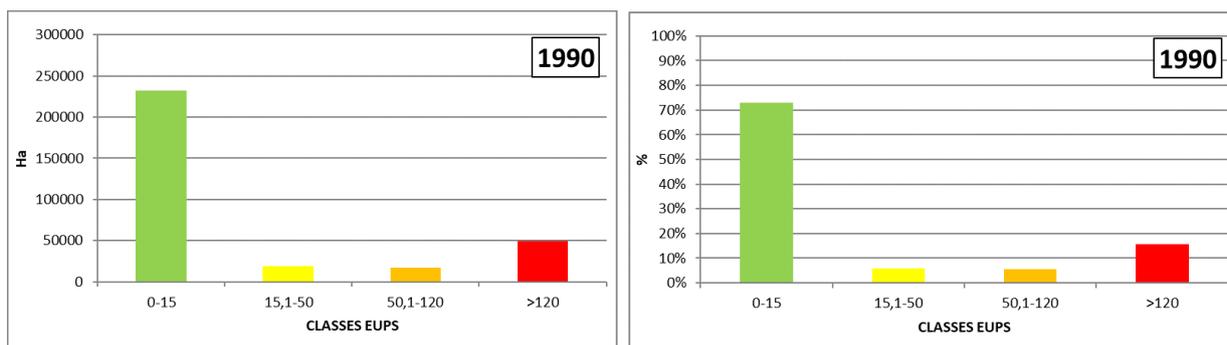


Tabela 17. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 2000

| 2000 | | | | | | |
|----------|-----------|-----|------------|-------|--------|-----|
| Classes | Área (Há) | % | Área (CIF) | % | Fora | % |
| 0-15 | 250254 | 79% | 112512 | 98,5% | 137742 | 67% |
| 15,1-50 | 36101 | 11% | 196 | 0,2% | 35905 | 18% |
| 50,1-120 | 18120 | 6% | 306 | 0,3% | 17814 | 9% |
| >120 | 13984 | 4% | 1252 | 1,1% | 12732 | 6% |
| | 318459 | | 114266 | | 204193 | |

Gráfico 10. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 2000

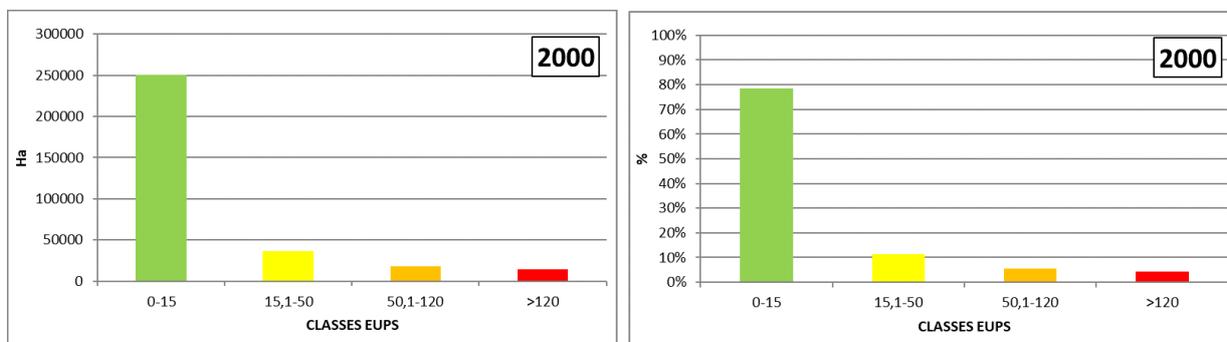


Tabela 18. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 2010

| 2010 | | | | | | |
|----------|-----------|-----|------------|-------|--------|-----|
| Classes | Área (Há) | % | Área (CIF) | % | Fora | % |
| 0-15 | 250254 | 79% | 113287 | 99,1% | 136967 | 67% |
| 15,1-50 | 36101 | 11% | 241 | 0,2% | 35860 | 18% |
| 50,1-120 | 18120 | 6% | 324 | 0,3% | 17796 | 9% |
| >120 | 13984 | 4% | 414 | 0,4% | 13570 | 7% |
| | 318459 | | 114266 | | 204193 | |

Gráfico 11. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 2010.

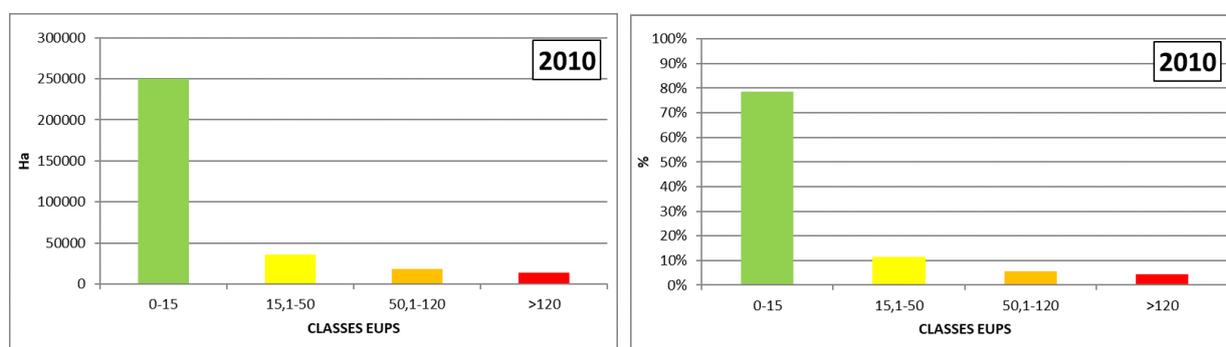


Tabela 19. Valores em percentual do uso e cobertura do solo na década de 2016

| 2016 | | | | | | |
|----------|-----------|-----|------------|-------|--------|-----|
| Classes | Área (Há) | % | Área (CIF) | % | Fora | % |
| 0-15 | 240093 | 75% | 112039 | 98,1% | 128054 | 63% |
| 15,1-50 | 41306 | 13% | 327 | 0,3% | 40979 | 20% |
| 50,1-120 | 20152 | 6% | 504 | 0,4% | 19648 | 10% |
| >120 | 16798 | 5% | 1315 | 1,2% | 15483 | 8% |
| | 318349 | | 114185 | | 204164 | |

Gráfico 12. Valores em percentual e hectare do uso e cobertura do solo na década de 2016



CONCLUSÃO

Entre os anos de 1970 a 1990, o Governo Brasileiro incentivou a expansão agrícola para atender a produção de alimentos em grande escala. A área do CIF não sofreu incidência expressiva de perda de solo exposto, por estar sendo cuidada ocupada e utilizada pelo Exército Brasileiro, mantendo preservado o cerrado e as mata galeria durante os 46 anos estudados, enquanto que na área da bacia que fica fora da jurisdição do CIF, ocorreu o inverso, teve um crescimento desordenado de solo exposto e da expansão agropecuária, de acordo com os mapas da Figura 16.

Entre as décadas de 1980 a 1990 ocorreu um pico de solo exposto, seguido de uma queda, que pode ter sido devido a mudança de uso do solo pela agropecuária transformando a agricultura em pastagens, e diminuindo a quantidade de solo exposto.

A bacia apresenta ampla extensão de áreas com pouco potencial erosivo, isso ocorre em comum nas áreas de planície, principalmente nas proximidades da confluência do canal principal com o Rio São Francisco. Não obstante lugares de chapadas também se configuram como extensões de baixo potencial erosivo, a exceção a esse acatamento limita-se às bordas de chapadas, aonde o alto grau de declividade conforma uma mudança abrupta não só no padrão de perda de solo como igualmente na paisagem. Assim, em conformidade com tais transformações nota-se a presença de locais de abrandado a forte potencial natural à erosão associados aos condutos fluviais, em especial aqueles que se localizam encaixados no relevo. Nota-se uma progressão que vai de jusante a montante, assim como se avalia os canais secundários que confluem com o canal fundamental da Bacia do alto Rio Preto, associado à confluência, há o domínio da classe fraca perda de solo enquanto na zona de transporte onde há maior movimentação de sedimentos domina a classe moderada, as classes moderadas a forte e forte predominam nas nascentes.

O pico do aumento de solo exposto na década de 1990, foi devido à expansão do cultivo de produtos agrícolas para o desenvolvimento da região, vindo a diminuir na década de 2000 a 2016, devido a diminuição da exposição de solos exposto advinda de plantio de produtos agrícolas como milho, arroz e soja e pelo plantio de pastagem para criação de gado.

O fator chuva (erosividade) está ligado ao fator de preservação de uso e manejo do solo, quando diminuimos o solo exposto, teoricamente estamos diminuindo a erosão, devido as folhas das plantas amortizarem o impacto das gotas de água no solo e as raízes acabam protegendo o solo de serem carregados pela água que escoar pela superfície.

Os militares, em suas atividades peculiares, trazem benefícios para a conservação e restauração ambientais. Algumas porções de terra sob jurisdição militar são mais bem cuidadas pela contenção do “cinturão de isolamento como área militar do que pela devolução ao poder público quando não sensibilizado com as questões ambientais em seus procedimentos diários” (ANDRADE JÚNIOR, 2005). Concluindo, a atividade militar sempre foi um fator de preservação ambiental. Nesse sentido pode ser destacado o Regulamento do Campo de Instrução de Gericinó no Rio de Janeiro de 1920 que apresenta diversos artigos de proteção ambiental.

“As Forças Armadas têm, em sua tradição, a preservação de biomas e áreas verdes num país de dimensões continentais, como o Brasil. E isso também é feito a partir de uma ampla estrutura de quartéis, bases e campos de instrução (alguns centenários), que contribuem para a preservação de todos os patrimônios nacionais”, afirmou o EB à Diálogo, por meio de seu Centro de Comunicação Social. “Um exemplo deste compromisso histórico é o Decreto nº 14.273, de 28 de julho de 1920, que aprovou a regulamentação do Campo de Instrução de Gericinó, no Rio de Janeiro. Diz o artigo 6º: “É terminantemente proibido o corte de árvores desses bosques ou da Serra de Gericinó, por parte das tropas. A administração do campo organizará as instruções para o aproveitamento das matas [...] de modo a impedir as derrubadas gerais que possam prejudicar o rendimento das águas nascentes. Uma árvore derrubada deverá ser substituída por outra”.

Em Manaus, no Amazonas, o Centro de Instrução de Guerra na Selva, criado pelo EB há mais de 50 anos, ocupa uma área de mais de 150 mil hectares e forma militares desde a década de 1960. Nesta estrutura, há um refúgio para animais resgatados e que não podem retornar à vida selvagem. Ao todo, 400 animais vivem no local. Em 2014, o local recebeu um Aquário Amazônico, com mais de 200 animais, e a Oca do Conhecimento, espaço para atividades de caráter educativo e preservacionista. Nesses locais usados como instalações militares ou campos de treinamento, as Forças Armadas conciliam segurança nacional com conservação do ecossistema. As áreas militares estão muito bem protegidas, seja pela segurança proporcionada pelos efetivos militares, seja, principalmente, pelo zelo e cuidado que os militares dedicam ao patrimônio público, inclusive o ambiental.

Pode-se concluir, portanto que apesar de existir atividades intensas com exercícios militares, os mesmos protegem o bioma por manterem o mesmo preservado, conforme comprovado através de mapas de solo, Figura 3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM F.F. & MARTINS-NETO M.A. 2001. A Bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, SBG/Núcleo MG, pp.: 9-30.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T., 2001. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.124-130, Campina Grande, PB.
- ANDRADE JÚNIOR, H. Limites e Desafios aos Militares Brasileiros em Relação à Questão Ambiental. São Paulo, USP. 2005. 333 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANDRADE, Carlos Drummond. A Rosa do Povo. São Paulo: Record, 2006.
- ANGULO, J.R. Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros. Curitiba: UFPR, 1983. 154p. Dissertação de Mestrado.
- BALL, G & HALL, D. (1967) A clustering technique for summarizing multivariate data. *Behav. Scienc* 12: 153 - 155.
- BARSI, R. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; ROMÃO, P. A. Mapeamento das áreas susceptíveis à erosão hídrica nos municípios de Caldas Novas, Nova América e Rio Quente, GO. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 29, n. 2, p. 151-155, 1999.
- BATISTA, V. G. P. Uso e Cobertura do Solo na Bacia do Alto Rio Preto: Análise do mapeamento histórico das mudanças nas áreas de preservação permanentes em unidade de conservação ambiental, área de uso militar e urbano-rural entre 1970-2016. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.
- BERRY, L. e RUXTON, B. P. (1960). The evolution of Hung Kong harbour basin. *Z. F. Geomorph.*, 4, 97-115.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:373-379, 1989.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1991. 355p
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1975. 25p. (Boletim Técnico, 21)
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 4. ed. Campinas: Ícone, 1999.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990.

- BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. Conservação do Solo. Piracicaba, SP: Editora Livroceres, 1985. 392p.
- BORGES, K.M.R. 2009. Avaliação de susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda dos Solos. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 68p.
- BRAIDA, J. A. & CASSOL, E. A., 1996. Erodibilidade em Sulcos e em Entressulcos de um Podzólico Vermelho-escuro Franco-arenoso. Campinas. Revista Brasileira de Ciência do solo, 20: 127-134.
- BRITO, M.A.V.P.; BRITO, J.R.F.; SOUZA, H.M. et al Avaliação da sensibilidade da cultura de leite do tanque para isolamento de agentes contagiosos da mastite bovina. Pesq. Vet. Bras., v.18, p.39-44, 1998.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; MORTARI, D.; FÁCIO, J. A.; MOTTA, N.; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: Camapum de Carvalho, J.; Sales, M. M.; Souza, N. M.; Melo, M. T. S. (Org.). **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. Brasília: Finatec, p. 39-91, 2006.
- CAMPOS, J. E. G.; MONTEIRO, C. F.; RODRIGUES, L. N. Geologia e zoneamento hidrogeológico da bacia do Rio Preto, DF/GO/MG. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 172, 2006.
- CAMPOS, J. E. G.; RESENDE, L.; ALMEIDA, L.; RODRIGUES, A. P.; SÁ, M. A. M.; MAGALHÃES, L. F. Diagnóstico hidrogeológico do Estado de Goiás. Goiânia: Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. 220 p
- CARNEIRO, R.M.D.G. et al. Resistance to *Meloidogyne mayaguensis* in *Psidium* spp. Accessions and their grafting compatibility with *P. guajava* cv. ‘Paluma’. *Fitopatologia Brasileira*, v.32, p.281-284, 2007.
- CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; MOUTINHO, P. e NEPSTAD, D. “Sensitive Development Could Protect Amazonia Instead of Destroying It”. *Nature*, n. 409, 2001, p. 131.
- CARVALHO, N.O. Hidrosedimentologia Prática. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e Eletrobrás. Rio de Janeiro: CPRM: Eletrobrás, 1994. Local de publicação e editora, 1994.
- CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

- CASTRO, F.C. Programas para calculo do fator LS da equação universal de perdas de solo, LAP AR, Contribuição n° 184, 6o Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação de Solo. Campo Grande, 1986.
- CHAVES, H.M.L. (1994) Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco. Relatório Final de Consultoria. CODEVASF/FAO, Brasília, 35p.
- CHAVES, H.M.L. Modelagem matemática da erosão hídrica: Passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 731-750.
- COELHO NETTO, A. L., Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos, ed. Bertrand, 5a ed., Rio de Janeiro, Brasil, p. 94-148, 2003.
- CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs. 2003. 99f. Tese (Doutorado em Ciências: Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP: USP, 2003.
- DARDENE, M. A. 1978. Zonação tectônica na borda ocidental do Cráton do São Francisco. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. SBG, s1, p.299-308.
- DENARDIN, J.E. (1990) Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 81f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- DESMET, P. J. J. & GOVERS G. (1996) A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 427 - 433.
- DONZELLI, P. L. VALERIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L. & LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. Documentos IAC, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.
- ELLISON, W. D. (1947). Soil erosion studies. II. Soil detachment hazard by raindrop splash. *Agric. Engng.*, 28, 197-201.
- EMBRAPA – Bacia do Rio Preto Pesquisadores de diversas instituições se unem para avaliar e monitorar a Bacia. Cerrados Informa. Ano VI, agosto a outubro de 2005. Planaltina – DF. 2005. 8p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de

- Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Geologia e Zoneamento Hidrogeológico da Bacia do Rio Preto, DF/GO/MG: 2006.
- FAO, 1967. La Erosion del Suelo por el Agua: Algunas Medidas para Combatirla en las Tierras de Cultivo. Roma, 207p.
- FARRES, P. J. (1978). The role of time and aggregate size in the crusting process. *Earth Surface Processes*, 243-254.
- FIGUEIREDO, C. C. et al Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 146-151, 2009.
- FOSTER, G. R. e MEYER, L. D. (1975). Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. *In Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources*. USDA Arg. Res. Serv. Pub. ARS-S, 190-207.
- FOSTER, G. R., 1982. Modeling the erosion process. In: Haan, Johnson & Brakensiek (eds.). Hydrology modeling of small watersheds. Monograph n. (5), American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- FOSTER, G.R. & WISCHMEIER, W.H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 17:305-309, 1974.
- FREEMAN, T.G. (1991). Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers and Geosciences* 17, 413-422.
- GRIFFIN, M.L.; BEASLEY, D.B.; FLETCHER, J.J.; & FOSTER, G.R. (1988) Estimating soil loss on topographically nonuniform field and farm units: *Jour. Soil and Water Conservation*, v. 43, p. 326-33.
- GUERRA A. J. T. 1998. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A.J.T., Cunha S.B. da. 1998. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. cap. 4, p. 149-209.
- GUERRA, A. J. T. e ALMEIDA, F. G. (1993). Propriedades dos solos e análise dos processos erosivos no município de Sorriso-MT. *Anais do IV Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente*, Cuiabá.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.
- GUERRA, A.J.T. e ALMEIDA, F.G. (1993). Propriedades dos solos e análise dos processos

erosivos no município de Sorriso-MT. Anais do IV Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Cuiabá, MT, vol. 1, 185-193.

GUIMARAES, Helder de Barros; BRAGA, Ricardo Augusto Pessoa. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação e as matas tuteladas ao Exército Brasileiro: proposta de criação de uma nova categoria. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XV, n. 96, jan 2012. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php/mnt/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=10963&revista_caderno=5>. Acesso em jun 2018.

HESSION, W.C.; STORM, D.E. & HAAN, C.T. Two-phase uncertainty analysis: An example using the universal soil loss equation. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.*, 39:1309-1319, 1996.

HOLMGREN, P. (1994) Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid-based elevation models: An empirical evaluation. *Hydrologic Processes* 8: 327-334.

HORTON, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrological approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 275-370.

ICMBIO. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Planalto Central. Brasília: MMA, 2012.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

JAYNES, D.B. & COLVIN, T.S. Spatiotemporal variability of corn and soybean yield. *Agron. J.*, 89:30-37, 1997.

KNAPP, B. J. (1978). Infiltration and storage of soil water. In *Hillslope hydrology*. Editor: M. J. Kirkby, 43-72.

LANE, L. J. and NEARING, M. A. (eds) (1989). USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentarion. NSERL Report No. 2. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN 47907.

LEINZ, V. & LEONARDOS, O. H. 1971. Glossário Geológico. São Paulo, Nacional/EDUSP. 323 p.

LEINZ, V. & LEONARDOS, O. H. 1971. Glossário Geológico. São Paulo, Nacional/EDUSP. 323 p.

LOMBARDI NETO, F.; Moldenhauer, W.C. (1980) Erosividade da chuva, sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisa de Conservação de Solo, 3. Anais..., Recife.

- MAGALHÃES, F. L. (2001). Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuras com armação treliçada. São Paulo, 2001. 135p + apêndice. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MANNIGEL, A. R. et al Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- McIsaac, M. S. (1990). Problemas affecting evolution of distance education in developing countries. *Researcb in distance Education*, 2(3), 12-16.
- MIDDLETON, H.E. 1930. Properties of Soils which Influence Soil Erosion. USDA Technical Bulletin. United State Department of Agriculture, USA.
- MITASOVA, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M. and IVERSON, L. R., 1997. Reply to Comment by Desmet and Govers, *International Journal Of Geographical Information Systems*, 11, 611-618.
- MITASSOVA, H. HOFIERKA, J. ZLOCHA, M. and IVERSON, L. R., 1997. Reply to Comment by Desmet and Govers, *neernational Journal of Geographical Information Systems*, 11, 611-618.
- MOORE, I. D.; & BURCH, G. J. (1986). Modeling erosion and deposition. Topographic effects. *Transactions of the ASAE* 29, 1624–1630.
- MORGAN, R. P. C. (1986). Soil erosion and conservation. Longman Group, Inglaterra, 298p.
- MUTCHLER, C. K. e YOUNG, R. A. (1975). Soil detachmente by raindrops. *In presente and prospective technology for predicting sediment yields and sources*, USDA Arg. Res. Serv. Pub. ARS-S40, 113-117.
- NASCIMENTO, R. A. M., 1998. “Fundamentos da Ciência do Solo”. Apostila de Aula, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, 122p.
- NEVES, M. F.; Trombin, V. G.; Milan, P.; Lopes, F. F.; Cressoni, F.; Kalaki, R. O retrato da citricultura brasileira, São Paulo: CitrusBR, 2011. 138p
- NORONHA, E.S., Controles para distribuição de voçorocas na área do centro de instruções de formosa - CIF. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geografia) - Universidade de Brasília, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rogério Uagoda.
- O’CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. (1984) The extraction of drainage network from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28: 328-344.

- O'CALLAGHAN, J.F.; MARK, D.M. (1984) The extraction of drainage network from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28: 328- 344.
- OLIVEIRA, J.S. 2012. Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Dissertação de Mestrado, 103p.
- PACHECO, V.; PEREIRA, L.; UAGODA, R. Preservacionismo ambiental em área militar e mapeamento histórico de áreas de preservação permanente à luz do direito ambiental brasileiro: o caso da bacia do alto rio Preto, *Revista Finisterra*, 2018, Prelo.
- PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. & URCHEI, M.A. (2006) Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB: DEAg/UFCG v. 10, n. 2: 261 - 268.
- PARANÁ. Secretaria de estado da agricultura e do abastecimento.
- PARKER, D. B., MICHEL, T. G., SMITH, J. L., Compaction and water velocity effects on soil in shallow flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, 121 (2): 170-178, 1995.
- PINTO, D. B. F. Aplicação do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, MG. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.
- RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; FERNANDES, F. N. & GOMES, R. A. T. (2003) Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 4, Nº 2: 41-49.
- REGO, J.J.V., 1978. Erosão Superficial em Taludes de Corte em Solo Residual de Gnaisse. Universidade federal do Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós – Graduação em Engenharia, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, 125 p.
- REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1795-2215, 2008.
- Renard, K.G., Ferreira, V.A., 1993. RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of Environmental Quality* 22 (3).458–466.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.) *Cerrado: ambiente e flora*. Brasília, Embrapa Cerrados, 1998. P.87-166.

- RISSE, L.M.; NEARING, M.A.; NICKS, A.D. & LAÛEN, J.M. Error assessment in the universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:825-833, 1993.
- ROGOWSKI, A.S.; KHAMBILVARDI, R.M. & DEANGELIS, R.J. Estimating erosion on plot, field and watershed scales. In: EL-SWAIFY, S.A.; MOLDENHAUER, W.C. & LO, A., eds. *Soil erosion and conservation*. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1985. p.149-166.
- RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná: segunda aproximação. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:279-281, 1986.
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:439-444, 1993.
- SALOMÃO, M.M., ROCHA, G.A. (coord). *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo, DAEE/IPT, 1989
- SAMPAIO, C.E.M (1990) *Análise de grupo via programação matemática*. Dissertação (Mestrado) 95f. Departamento de Estatística, Instituto de Ciências Exatas, Universidade de Brasília, Brasília.
- SANTOS, A. S. Subsídios à implantação da gestão ambiental em áreas militares do exército brasileiro, tendo como estudo o caso do campo de instrução de Formosa-GO. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Católica de Brasília. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental. Brasília, DF.
- SANTOS, T. E. M. dos; MONTENEGRO A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 217-225, 2009.
- SCHRAGE, T. J. ; UAGODA, Rogério. Distribuição espacial de depressões na bacia do alto rio Preto (GO, DF, MG) e suas relações com controles geológicos e pedogeomorfológicos. *REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA*, v. 18, p. 379-395, 2017.
- SENA SOUZA, JOÃO PAULO ; de Carvalho Júnior, Osmar Abílio ; Martins, Éder de Souza; VASCONCELOS, VINÍCIUS; Couto Júnior, Antônio Felipe; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; GUIMARÃES, Renato Fontes . Comparação dos métodos de classificação por ângulo espectral e distância euclidiana no mapeamento das formas de terreno. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, p. 591-613, 2016.

- SILVA ARIMORO, OMOLABAKE ALHAMBRA ; REIS LACERDA, ANA CRISTYNA; TOMAS, WALFRIDO MORAES ; ASTETE, SAMUEL ; ROIG, HENRIQUE LLACER ; MARINHO-FILHO, JADER . Artillery for Conservation. Tropical Conservation Science, v. 10, p. 194008291772765, 2017.
- SILVA, M. L. N. et al Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, 2000.
- SILVA, M. L. N. et al Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2287-2298, 1999.
- STEIN, D.P., DONIZELLI, P.L.;GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erisão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE ERISÃO, 3., 1987, Marília. Anais... Marília: ABGE; DAFE, 1987. v.1, p. 105-135.
- STOCKING, M. A. (1977). Rainfall erosivity in erosion: some problems and applications. Research discussion paper, 13, University of Edinburgh, Dept. Of Geography, 29p.
- TÁNAGO, M.G. La ecuación universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 5:13-50, 1991.
- TARBOTON, D. G. (1997) A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33 (2): 309 – 319.
- THORNES, J. B. (1980). Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. *In Soil erosion*. Editores: M. J. Kirkby e R. P. C. Morgan, 129-182.
- Tiwari, J.K., Munshi, A.D., Kumar, R., Pandey, R.N., Arora, A., Bhat, J.S., Sureja, A.K., 2010. Effect of salt stress on cucumber: Na⁺/K⁺ ratio, osmolyte concentration, phenols and chlorophyll content. *Acta Physiol. Plant* 32, 103–114.
- VALÉRIO FILHO, M. Apostila: Cartografia Básica. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2004,64p.
- VALTERCIDES C. S. (2004), ESTIMATIVA DA EROSÃO ATUAL DA BACIA DO RIO PARACATU (MG / GO / DF), *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34 (3): 147-159, 2004 – 147
- VILAR, O.M. & PRANDI, E.C. (1993) Erosão dos solos – Solos do interior de São Paulo. (Eds. J.C.A. Cintra & J.H. Albiero).ABMS, Departamento de Geotecnia, EESC,

USP, p. 177-206.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a Erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 107-133, 2007.

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

WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, 31:5-9, 1976.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain. Washington, DC: ARS/USDA, 1965. WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington: USDA Agriculture Handbook, n. 537, 58p. 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. *Transactions of the American Geophysical Union*, Washington, DC, v. 39, n. 2, p. 285- 291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Cons.*, Ankeny, 26:189-193, 1971.