



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE DE SISTEMAS NATURAIS

**MODELAGEM MULTITEMPORAL DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS E ANÁLISE DA
EFICIÊNCIA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS
NASCENTES DO RIO ARAGUAIA (GO/MT)**

José Akashi Junior
Tese de Doutorado

Profª Drª Ruth Elias de Paula Laranja (orientadora)

Brasília
Setembro - 2020

MODELAGEM MULTITEMPORAL DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA- GO/MT

Tese de Doutorado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Doutor.

Linha de pesquisa: Análise de Sistemas Naturais

Orientadora: Prof^a Dr^a Ruth Elias Laranja

AKASHI JUNIOR, JOSÉ. MODELAGEM MULTITEMPORAL DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA- GO/MT

JOSÉ AKASHI JUNIOR

**MODELAGEM MULTITEMPORAL DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS E ANÁLISE DA
EFICIÊNCIA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS
NASCENTES DO RIO ARAGUAIA- GO/MT**

Tese de Doutorado, submetida ao Departamento de Pós Graduação em Geografia da Universidade de Brasília como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor.

Brasília, 21 de setembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Ruth Elias de Paula Laranja (orientadora)
Universidade de Brasília

Dr^o João Carlos Carvalho
Agência Nacional de Águas

Prof^o Dr^o Rafael Rodrigues da França
Universidade de Brasília

Prof^a Dr^a Roselir de Oliveira Nascimento
Universidade de Brasília

Am AKASHI JUNIOR, JOSÉ
MODELAGEM MULTITEMPORAL DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS
E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA- GO/MT /
JOSÉ AKASHI JUNIOR; orientador RUTH ELIAS DE PAULA LARANJA.
- Brasília, 2020.
169 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Geografia) --
Universidade de Brasília, 2020.

1. MODELAGEM PERDA DE SOLOS BACIA NASCENTES RIO ARAGUAIA
(GO/MT). 2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS. 3.
PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA. 4. MANEJO CONSERVACIONISTA DO
SOLO . 5. BACIA HIDROGRÁFICA. I. ELIAS DE PAULA LARANJA,
RUTH, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFIA

AKASHI JUNIOR, J. **MODELAGEM MULTITEMPORAL DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA- GO/MT.** 2020. 201 p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de Brasília. Brasília, 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

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

José Akashi Junior

AGRADECIMENTOS

Ao departamento de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília, especialmente às pessoas de JORGE LUIZ PEREIRA e AGNELO JOSÉ CAMELO PEREIRA DA SILVA pelo respeito, compreensão, colaboração, boa vontade e amizade que desenvolvemos neste período.

À professora RUTH ELIAS DE PAULA LARANJA por sempre transmitir tranquilidade e serenidade, por sempre trazer um sorriso no rosto, pelo permanente respeito recebido ao longo de todo este processo.

Às professoras e professores do Departamento de Pós graduação de Geografia da Universidade de Brasília (UnB) que tanto contribuíram nessa trajetória de busca pelo conhecimento, de busca por um mundo melhor.

Aos amigos da Pós-graduação MAXEM LUIZ DE ARAÚJO e WALLACE WAGNER RODRIGUES PANTOJA pelos inesquecíveis e divertidos momentos e pela amizade vivida.

Às amigas e amigos da vida que andaram de mãos dadas ao longo da produção deste trabalho, que não mediram esforços em suas contribuições.... muito obrigado!!

Aos meus/minhas anj@s de luz que permitiram até aqui ter chegado.

Por uma Geografia propositiva...

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização - bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.	16
Figura 2 - Foto montagem Voçoroca Chitolina – extensão maior que 1000m (Castro e Xavier, 2004).	53
Figura 3 - Tabela Valores de C, P e Z, manejos convencional e conservacionista. Fonte: ANA, 2013.....	73
Figura 4 - Coluna geológica - Bacia Sedimentar do Paraná (RADAMBRASIL Folha SE.22 Goiânia). Fonte: SOUSA JUNIOR et al., 1983.	81
Figura 5 - Formações Geológicas: bacia nascentes Araguaia. Fonte: (SOUSA JUNIOR et al., 1983; CPRM, 2000; CASTRO, 2004).....	82
Figura 6 - Litologia: bacia nascentes Araguaia. Fonte: (SOUSA JUNIOR et al., 1983; CPRM, 2000; CASTRO, 2004).	83
Figura 7 - Mapa Climas do Brasil - Classificação de Köppen (tipos de climas anuais (TCA) Dubreuil et al. (2018). (área de estudos circulada).....	91
Figura 8 - Mapa Climas do Brasil - Classificação de Köppen. Alvares et al. (2014). (área de estudos circulada).	91
Figura 9 – precipitação e variabilidade da região das nascentes do rio Araguaia (1985). Fonte: TerraClimate (ABATZOGLO et al., 2018)	94
Figura 10: Geomorfologia – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.....	96
Figura 11: Hipsometria – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.	97
Figura 12 – Declividade – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.....	98
Figura 13 - Vista panorâmica caracterizando o relevo da área de estudo, (i) topo tabular da Chapada, (ii) escarpas erosivas, e uma (ii) superfície rebaixada e dissecada Fonte: CELG (1999).	99
Figura 14: Pedologia – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.	103
Figura 15 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Campo Úmido. Formações campestres representado em uma faixa de 40 metros de comprimento e 10 metros de largura. Porção (a) campo seco, (b) campo úmido e (c) campo mal drenado com murundus (microrelevos elevados). Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).....	108
Figura 16 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerrado Denso. Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).....	109
Figura 17- Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerrado Típico. Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).....	110
Figura 18 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerrado Ralo. Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).....	111
Figura 19 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Mata de Galeria. Representa uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).	112
Figura 20- Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerradão. Representa uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).....	113
Figura 21 - Materiais utilizados na definição e mapeamento da área de estudos: modelo de sombra parte a; modelo hipsométrico associado ao modelo de sombra parte b.....	119

Figura 22 - Materiais utilizados na definição e mapeamento da área de estudos. Modelo de sombra (parte a); e curvas de nível associadas ao modelo de hipsometria e sobrepostas ao modelo de sombra (parte b).	120
Figura 23 - procedimento de correção da anomalia de valores de pixels. Na parte a pixel com valor ligeiramente inferior e em b com valor ligeiramente superior à sua vizinhança.	125
Figura 24 - Fitofisionomias do bioma Cerrado e sua correspondência em cor e textura a partir de imagens OLI Landsat 8. Fonte: adaptado pelo autor a partir de Ribeiro e Walter (2008)...	126
Figura 25 - Imagem OLI Landsat 8 na composição colorida RGB 654 (parte a); e imagem segmentada em padrões de coloração e textura (parte b).	128
Figura 26 - coleção mapas físicos- bacia das nascentes do rio Araguaia.	137
Figura 27 - série multitemporal de cartas imagem (satélite Landsat 5 TM e Landsat 8) – bacia das nascentes do rio Araguaia.	138
Figura 28 - série multitemporal de mapas de uso do solo – bacia das nascentes do rio Araguaia.	139
Figura 29 - Potencial Natural de Erosão (PNE) da bacia das nascentes do rio Araguaia	149
Figura 30 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 1984 - bacia nascentes rio Araguaia	153
Figura 31 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 1994 - bacia nascentes rio Araguaia	156
Figura 32 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 2004 - bacia nascentes rio Araguaia	159
Figura 33 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 2014- bacia nascentes rio Araguaia	162
Figura 34 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 2018- bacia nascentes rio Araguaia.	165
Figura 35 – Modelagem PPA (EUPS/USLE) 2018 e Estimativa de Perda de Solo - bacia nascentes rio Araguaia	172
Figura 36 - Perda de solos PPA e propriedades rurais - bacia nascentes do Araguaia	175
Figura 37. Perda de solo (uso do solo 2018) propriedades rurais - bacia nascentes do rio Araguaia: convencional X PPA.	176
Figura 38 - Evolução das estimativas de perda de solo (1984, 1994, 200, 2014, 2018)- bacia nascentes do Araguaia	180

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de capacidade de uso sem riscos para erosão acelerada.....	47
Quadro 2 - Classes de suscetibilidade à erosão laminar e formas de relevo. Fonte: Oliveira (2004).	52
Quadro 3 - Alterações previstas nos processos hidrológicos e respostas resultantes da conversão das vegetações naturais de bacias hidrográficas (florestais, arbustivas ou herbáceas) para plantações agrícolas. Fonte: Brooks (2013)	69
Quadro 4 - Valores de referência de pagamento (VRP) pelos serviços ambientais referentes à conservação do solo.....	75
Quadro 5 - Valores de referência de pagamento pelos serviços ambientais referentes à restauração ou conservação de APP e/ou RL.....	76
Quadro 6 - Valores de referência de pagamento (V.R.P em R\$/ha/ano) para incentivo à conservação de vegetação nativa (áreas extras às de APP e/ou RL, já previstas na modalidade II	76
Quadro 7 - Condicionantes climáticos - Região Sudoeste do estado de Goiás. Fonte: (GOIÁS, 2006).	92
Quadro 8 - Classes de solo, textura e respectivos valores de Fator K.	124
Quadro 9 - Classes de cobertura e uso do solo e respectivos valores do fator CP.	129
Quadro 10 - Áreas em percentuais dos tipos do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Araguaia (Período 1984 – 2018)	134
Quadro 11 - dinâmica multitemporal das fitofisionomias e formas de uso do solo – bacia das nascentes do rio Araguaia.....	136
Quadro 12 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 1984	142
Quadro 13 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 1994	142
Quadro 14 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 2004	143
Quadro 15 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 2014	145
Quadro 16 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 2018	146
Quadro 17 - tipos de uso e cobertura do solo e fator CP.....	150
Quadro 18 - qualificação das classes de perda de solo [adaptado].	151
Quadro 19 - perda de solo EUPS/USLE 1984.....	154
Quadro 20 - classes de perda de solo EUPS/USLE 1994.....	157
Quadro 21 - perda de solo EUPS/USLE 2004.....	160
Quadro 22 - perda de solo EUPS/USLE 2014.....	163
Quadro 23 - perda de solo EUPS/USLE 2018.....	166
Quadro 24 - análise temporal de perda de solo (1984, 1994, 2004, 2014, 2018).	168
Quadro 25 - tipos de uso do solo 2018 e fatores CP convencional e conservacionista. Fonte: ANA (2013)	171
Quadro 26 - simulação PPA – classes de perda de solo EUPS/USLE 2018.	173
Quadro 27 - Estimativa de perda de solo EUPS/USLE 2018 das propriedades rurais da bacia das nascentes do Araguaia: manejo convencional e conservacionista (PPA).	177

SUMÁRIO

SUMÁRIO	10
RESUMO.....	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS-METODOLÓGICOS	22
2.1 - SISTEMAS GERAIS E MODELOS.....	22
2.1.1 - Sistemas e Modelos em geografia física	26
2.1.2 - Modelagem e metodologia.....	31
2.1.3 - Modelos matemáticos	32
2.2 - PROCESSOS EROSIVOS	35
2.2.1 - Erosão Laminar.....	37
2.2.2 - Erosão Linear.....	39
2.3 - Manejo conservacionista do Solo	42
2.4 - Equação Universal de Perda de Solos (EUPS/USLE).....	48
2.5 - Processos erosivos na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia	49
3. MUDANÇAS NO USO DO SOLO E COBERTURA DA TERRA (<i>LAND USE LAND COVER CHANGES - LULCC</i>)	56
3.1 - PREVISÃO E MODELAGEM DOS IMPACTOS EM DECORRÊNCIA DA LULCC.....	58
3.2 - INTEGRAÇÃO DO MODELO EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS/USLE) COM O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) PARA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO POR EROSÃO.....	61
3.2.1 - Fator de Erosividade de Precipitação (R)	62
3.2.2 - Fator Erodibilidade do Solo (K)	63
3.2.3 - Fator LS topográfico	64
3.2.4 - Fator C Cobertura e Gerenciamento de Plantio.....	65
3.2.5 - Fator P Prática de Apoio a Conservação	66
4. O PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA (PPA) COMO POLÍTICA DE GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS APLICADO À DIMINUIÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO E MANEJO HIDROSEDIMENTOLÓGICO. UMA PROPOSTA PARA AS PROPRIEDADES RURAIS DA BACIA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA.....	67
4.1 Programa Produtor de Água (PPA) / Agência Nacional de Águas (ANA)	67
4.2 Metodologia simples e robusta.....	71
5. CONDICIONANTES FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA.....	79
5.1 - GEOLOGIA	79
5.1.1 - Bacia Sedimentar do Paraná	79
5.1.2 - Formação Botucatu (Grupo São Bento)	84
5.1.3 - Formação Serra Geral (Grupo São Bento).....	85
5.1.4 - Depósitos aluvionares	86
5.1.5 - Formação Cachoeirinha	86
5.2 - CLIMA	88
5.2.1 - Condicionantes climáticos da região das nascentes do rio Araguaia.	90
5.3 - GEOMORFOLOGIA.....	95
5.3.1 - Modelado de Aplanamento - Planalto	99
5.3.2 - Modelado de Dissecação - Escarpa Erosiva	99
5.3.3 - Modelado de Aplanamento - Pedimento	100
5.3.4 - Modelado de Acumulação - Planície Fluvial	100
5.4 - PEDOLOGIA.....	101
5.4.1 - Latossolo Vermelho Distrófico	101
5.4.2 - Cambissolo Háplico Distrófico.....	102

5.4.3 - Neossolos Litólicos Distrófico.....	104
5.4.4 - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	104
5.4.5 - Neossolos Quartzarênicos Órtico.....	105
5.4.6 - Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos.....	106
5.5 - VEGETAÇÃO (fitofisionomias do cerrado)	107
5.5.1 Formação Campestre	107
5.5.1.1 - Campo Úmido	107
5.5.2 - Formação Savânica.....	108
5.5.2.1 - Cerrado denso.....	109
5.5.2.2 - Cerrado típico.....	109
5.5.2.3 - Cerrado ralo	110
5.5.3 - Formação florestal	111
5.5.3.1 - Mata galeria	111
5.5.3.2 - Cerradão.....	112
6. MÉTODO - ABORDAGEM SISTÊMICA	114
7. METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS	117
7.1 - ACERCA DO MÉTODO DE PESQUISA	117
7.2 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	118
7.3 - EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS	120
7.3.1 - FATOR R - EROSIVIDADE DAS CHUVAS.....	121
7.3.2 - MAPEAMENTO DAS CLASSES DE SOLO E ATRIBUIÇÃO DOS VALORES DO FATOR K	122
7.3.3 - FATOR LS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS	124
7.3.4 - COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO.....	126
7.3.5 - DETERMINAÇÃO DO FATOR COBERTURA/USO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	128
7.4 - FATOR CP E SUA INFLUÊNCIA NA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS (EUPS/USLE).....	130
7.4.1 - Fator Cobertura e Manejo (fator C)	130
7.4.2 - Fator de Prática de Suporte (P)	131
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	132
8.1 - DINÂMICA NO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA (1984, 1994, 2004, 2014, 2018).....	132
8.2 - ANÁLISE MULTITEMPORAL (1984, 1994, 2004, 2014 e 2018) DAS MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA	140
8.2.1 - COBERTURA E USO DO SOLO – 1984	140
8.2.2 - COBERTURA E USO DO SOLO – 1994	142
8.2.3 - COBERTURA E USO DO SOLO – 2004	143
8.2.4 - COBERTURA E USO DO SOLO – 2014	145
8.2.5 - COBERTURA E USO DO SOLO – 2018	146
8.3 – FATOR CP E RELAÇÃO DA PERDA DE SOLOS POR EROSIÃO LAMINAR NA BACIA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA.....	148
8.3.1 - POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO (PNE)	148
8.3.2 - ANÁLISE TEMPORAL DO FATOR CP NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA.....	150
8.4 – EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS/USLE), FATOR CP/USO DO SOLO E ESTIMATIVAS DE PERDA DE SOLO – BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA	152
8.4.1 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (1984).....	152
8.4.2 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (1994).....	155

8.4.3 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (2004)	158
8.4.4 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (2014)	160
8.4.5 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (2018)	163
8.5 - PANORAMA DA PERDA DE SOLO (1984, 1994, 2004, 2014, 2018) – BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA	166
8.6 - SIMULAÇÃO/MODELAGEM (EUPS/USLE) DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA (PPA) - MANEJO CONSERVACIONISTA –REFERENTE AO USO DO SOLO DO ANO DE 2018	170
8.6.1 – Simulação/modelagem do PPA (2018) das propriedades rurais da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia	174
9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	181
10. BIBLIOGRAFIA.....	184

RESUMO

A bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia, localizada em áreas do domínio morfoclimático Cerrado, na fronteira do sudoeste goiano e sudeste mato-grossense, desde a década de 1950 vem sendo submetida a extenso processo de antropização, destacando-se inicialmente a conversão de amplas áreas de vegetação natural em agropecuária. Esse processo é decorrente do avanço da fronteira agrícola, que no período, teve como direção preferencial o Cerrado brasileiro.

Desde então, se instalou nessa bacia hidrográfica uma considerável quantidade de focos erosivos laminares e lineares, alguns de grande extensão, que se relacionam em grande parte com a retirada da vegetação e ausência de práticas de conservação do solo, além dos condicionantes físicos da bacia. Os impactos erosivos e hidrossedimentológicos recaem, sobretudo, sobre a calha do rio Araguaia e seus afluentes, resultando na perda de solos agricultáveis, bem como sobre os processos hidrológicos desta bacia hidrográfica, dentre outros.

Em virtude de processos semelhantes nas várias regiões brasileiras, a Agência Nacional das Águas (ANA), a exemplo de robustos programas mundiais de manejo agroambiental em bacias hidrográficas, desenvolveu o Programa Produtor de Água (PPA) visando à preservação da cobertura vegetal e atenuação dos processos erosivos, sedimentares, e do escoamento superficial nas propriedades rurais, a fim de favorecer os processos hidrológicos e à redução do assoreamento dos cursos d'água.

Com o intuito de pesquisar formas de minimização dos processos erosivos na bacia das nascentes do Araguaia, este trabalho investigou em um primeiro momento os impactos da perda de solo em virtude da dinâmica da ocupação agropecuária, e em um segundo momento os impactos decorrentes da adoção de práticas de manejo conservacionistas preconizadas pelo Programa Produtor de Água (PPA).

Esta investigação se deu por modelagem matemática da estimativa da perda de solos considerando manejo convencional e conservacionista, através da Equação Universal de Perda dos Solos (EUPS/USLE) via processamento de dados espaciais georreferenciados (geoprocessamento).

A modelagem (EUPS/USLE) da perda de solos na bacia em questão foi realizada considerando a condições de uso do solo dos anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2018. Dentre outros, os resultados apontam gradativa redução na estimativa de perda de solos para este período, mesmo sem a adoção de práticas de manejo conservacionistas.

Já a modelagem do cenário conservacionista com base no Programa Produtor de Água (PPA) realizada para o ano de 2018, apontou substancial redução nas estimativas de perda de solo, a mesma chegando a 90,32% para a bacia como um todo.

ABSTRACT

The hydrographic basin of the headwaters of the Araguaia River, located in areas of the Cerrado morphoclimatic domain, on the border of southwest Goiás and southeast Mato Grosso, since the 1950s has been subjected to an extensive process of anthropization, with emphasis on the conversion of large areas. areas of natural vegetation in agriculture. This process is due to the advance of the agricultural frontier, which in the period, had the Brazilian Cerrado as its preferential direction.

Since then, a considerable number of laminar and linear erosive foci has been installed in this hydrographic basin, some of great extent, which are largely related to the removal of vegetation and the absence of soil conservation practices, in addition to the physical conditions of the basin. The erosive and hydrosedimentological impacts mainly fall on the Araguaia River channel and its tributaries, resulting in the loss of agricultural land, as well as on the hydrological processes of this hydrographic basin, among others.

Due to similar processes in the various Brazilian regions, the National Water Agency (ANA), like robust global programs for agro-environmental management in hydrographic basins, developed the Water Producer Program (PPA) aimed at preserving vegetation cover and mitigating erosive, sedimentary, and runoff processes in rural properties, in order to favor hydrological processes and to reduce silting of water courses.

In order to investigate ways of minimizing erosion processes in the Araguaia spring basin, this work investigated, in a first moment, the impacts of soil loss due to the dynamics of agricultural occupation, and in a second moment, the impacts resulting from the adoption of conservation management practices advocated by the Water Producer Program (PPA).

This investigation was carried out by mathematical modeling of soil loss estimation considering conventional and conservationist management, through the Universal Soil Loss Equation (EUPS / USLE) via processing of georeferenced spatial data (geoprocessing).

The modeling (EUPS / USLE) of soil loss in the basin in question was carried out considering the land use conditions of the years 1984, 1994, 2004, 2014 and 2018. Among others, the results point to a gradual reduction in the estimate of soil loss. soils for this period, even without the adoption of conservationist management practices.

The modeling of conservation scenarios based on the Water Producer Program (PPA) carried out for the year 2018, showed a substantial reduction in soil loss estimates, the same reaching 90.32% for the basin as a whole.

1. INTRODUÇÃO

A região das nascentes do grande rio Araguaia, se localiza no Centro-Oeste brasileiro, se distribuindo nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Mais especificamente, está localizada entre as divisas dos municípios de Mineiros (extremo sudoeste goiano) e Alto Taquari (extremo sudeste mato-grossense), como mostra a figura 1.

Esta região se situa no Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, em terras pertencentes ao domínio morfoclimático e fitogeográfico do Cerrado. Corresponde ao setor sul da alta bacia do rio Araguaia, onde se destaca sua proximidade com o Parque Nacional das Emas (GO).

A correspondente à alta bacia hidrográfica corresponde a uma superfície em processo de erosão diferenciada, onde se observam áreas elevadas, áreas rebaixadas, dissecadas e suavizadas, que contrasta, pois é cercada por um extenso planalto de relevo residual denominado Chapada ou Serra do Caiapó (MAMEDE et al, 1983; CASTRO, 2005).

O relevo da superfície rebaixada se caracteriza por suaves colinas convexas, amplas e médias, e fundos de vales côncavos. Nestas predominam declividades que variam de 0 a 14%, podendo nas cabeceiras das drenagens variar de 14 a 20%. As litologias da Formação Botucatu são preponderantes. Na sequência pedológica encontram-se Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos distróficos, respectivamente nos terços superior e médio das vertentes, e os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos nos fundos de vale (SOUSA JUNIOR et al., 1983; NOVAES, et al. 1983).

A superfície descrita corresponde, majoritariamente, à área da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia. A quase totalidade dessa superfície rebaixada e dissecada se encontra antropizada, restando apenas algumas manchas de vegetação nas médias vertentes e ao longo de alguns segmentos de drenagem. Conforme demonstra o presente estudo, as vegetações savânicas foram extensivamente substituídas por atividades agrícolas, decorrendo em severas perdas de solo por processos erosivos.

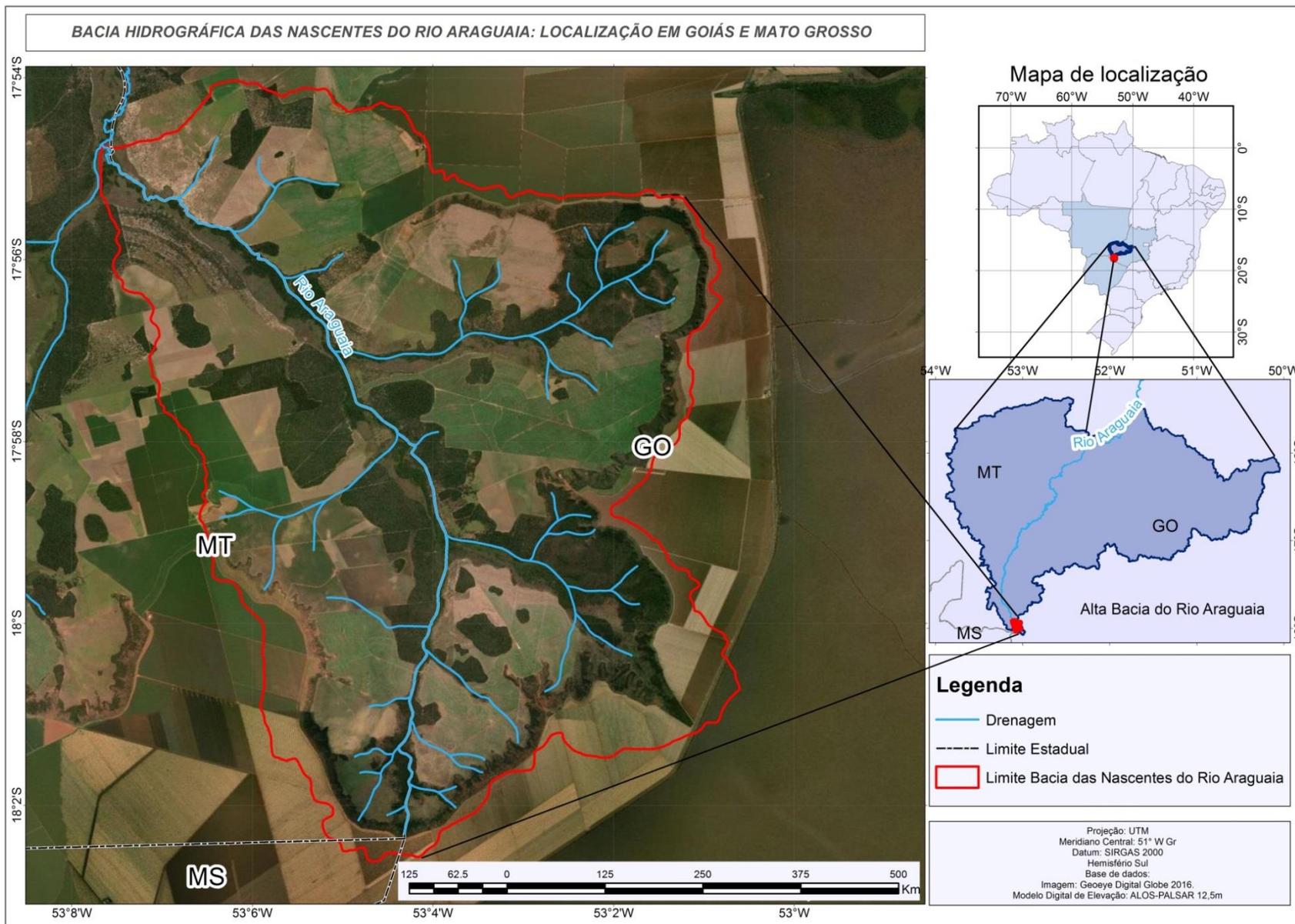


Figura 1 - Mapa de localização - bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Essa região, assim como grande parte das terras do domínio morfoclimático dos Cerrados, foi submetida a programas de implantação e desenvolvimento da agropecuária, que tiveram início em meados dos anos de 1970 e início dos anos de 1980, através da implantação de políticas consideradas desenvolvimentistas (Planos Nacionais de Desenvolvimento - PND) que visavam, sobretudo, à modernização da agricultura, bem como o processo de avanço das fronteiras agrícolas e ocupação das terras a oeste no Brasil (MIZUMOTO, 2009).

Essa agricultura modernizada pode ser caracterizada pelo grande volume de investimentos de capital, no desenvolvimento tecnológico, na concentração fundiária e nas monoculturas de grãos, destinadas principalmente à exportação (FREDERICO, 2013). Conforme o autor, os principais beneficiados pela modernização do campo são os grandes produtores agrícolas, grandes agroindústrias e empresas multinacionais fabricantes de agrotóxicos, maquinário agrícola e do comércio mundial de grãos.

Castro (2005) aponta que, associado ao processo de avanço da fronteira agrícola no Cerrado, desenvolveram na região das nascentes do rio Araguaia intensos e extensos processos erosivos hídricos lineares e laminares, com destaque à existência de um conjunto de voçorocas de grande extensão. Há elevada concentração de focos erosivos em toda essa área, que por sua vez, estão relacionados ao processo de desmatamento indiscriminado da vegetação original do Cerrado substituídas por práticas agropecuárias (CASTRO; XAVIER, 2004).

Essa substituição aumentou a exposição dos solos desta bacia, em sua maior parte arenosos, aos impactos diretos das chuvas, bem como do escoamento superficial. Nessa região registram-se médias anuais de precipitação de aproximadamente 1500 mm concentradas no verão (NIMER, 1972; SANTANA, 2007).

A dimensão dos impactos ambientais na região das nascentes do rio Araguaia atraiu a atenção de alguns setores da sociedade, como os meios de comunicação, o meio científico e movimentos ambientalistas na busca de minimizar e reverter o quadro de degradação que se configurou (PAULA, M. et al. 2008).

Dentre as consequências ao desencadeamento dos processos erosivos destacam-se as perdas de biodiversidade, de solos agricultáveis, assoreamento dos cursos hídricos do rio Araguaia na região de suas cabeceiras, rebaixamento e comprometimento do nível dos aquíferos, conforme apontam Barbalho (2002); Castro (2005); Santana (2007).

Para Latrubesse et al. (2009) as práticas agropecuárias adotadas na bacia do Araguaia a partir de 1970 trouxeram o desenvolvimento econômico regional, mas com um alto custo ambiental. O desmatamento provocou o desencadeamento de processos erosivos em praticamente toda a bacia, sendo que as situações mais degradantes foram registradas na porção alta dessa bacia, onde afloram rochas sedimentares mesozoicas, resultando na ruptura de um limiar geomórfico crítico que causou a introdução de grandes cargas de sedimentos no canal do rio Araguaia.

Cabacinha et al. (2010) apontam que essas mudanças promoveram impactos sobre a biodiversidade, solos e águas da região das nascentes do rio Araguaia, em particular a vegetação original. Segundo esses autores, até 1970 essa área era coberta por savanas penetradas por matas de galeria e ciliar ao longo dos canais de menor ordem e principais, respectivamente, e desde então a vegetação natural se encontra em grande proporção em situação fragmentária.

Diante do exposto, a região descrita consiste no recorte espacial deste trabalho. O delineamento preciso da área de estudo desta pesquisa consiste na delimitação de uma bacia hidrográfica denominada bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (figura 1), uma área de 12.760,62 hectares, que tem seu exutório junto à confluência com o rio Araguainha.

Todavia, a relação entre a ocupação agropecuária e degradação ambiental, sobretudo, em relação aos processos erosivos, não representa uma particularidade específica desta área. Em várias áreas do território brasileiro esta configuração se repete, e conseqüentemente afeta os recursos hídricos e edáficos das bacias hidrográficas (ANA, 2013).

Diante dessa realidade, a Agência Nacional das Águas (ANA), desenvolveu o Programa Produtor de Água (PPA) que visa à melhoria da quantidade e qualidade das águas subterrâneas e superficiais, por meio de propostas de manejos conservacionistas dos solos e da vegetação natural, simultâneas aos processos de produção agropecuária. Estas propostas visam garantir a produtividade agropecuária, a redução dos processos de escoamento superficial, bem como erosivos e, conseqüentemente, o aumento da infiltração das águas pluviais (ANA, 2013).

O Programa Produtor de Água (PPA) adota a propriedade rural como unidade espacial de planejamento e atuação. Considera que a redução da perda de solos em cada propriedade rural seja responsável na mesma proporção pela diminuição da sedimentação na bacia hidrográfica (ANA, 2013).

As práticas de manejo e conservação adotadas pelo PPA consistem em plantios em curvas de nível, plantio direto, barragens de captação e infiltração de água de chuva (barraginhas), barragens subterrâneas, readequação de estradas rurais, subsolagem, construção de terraços, correção e recuperação de pastos, recomposição de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL). Como resultados esperados pelo PPA, espera-se o aumento das vazões de seca, diminuição de contaminação e assoreamento dos cursos d'água, dentre outros (ANA, 2012).

A fim de testar e avaliar a eficiência das técnicas conservacionistas propostas pelo PPA sobre os processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas, faz-se necessário simular e/ou mensurar os efeitos das práticas de manejo do solo e da vegetação natural, na redução da perda de solo.

A simulação ou modelagem dos processos hidrossedimentares pode ser realizada em ambiente digital por meio de modelagens matemáticas hidrológicas mediante procedimentos previamente desenvolvidos por geoprocessamento, simulando fenômenos, processos e impactos que acontecem nos ambientes.

A integração da Equação Universal de Perda dos Solos (EUPS/USLE) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilita a espacialização dos fatores da EUPS e, conseqüentemente, o produto resultante, permitindo assim, modelagem e/ou

simulação de processos relacionados a erosão laminar, em especial nas bacias hidrográficas (BAGHERZADEH, 2012; ZHU, 2014; GOMES et al., 2017).

Diante do exposto, entende-se que para a bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia, o Programa Produtor de Água (PPA) pode contribuir para a articulação de uma robusta política pública de gerenciamento dos recursos hídricos desta região.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa é analisar através da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS/USLE) a dinâmica do processo de perda de solos em relação à ocupação antrópica da bacia das nascentes do rio Araguaia para os anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2018. Num segundo momento objetiva-se simular a eficiência das práticas de manejo conservacionistas propostas pelo PPA nas estimativas de redução de perda de solo.

Como objetivos específicos pretende-se (i) avaliar a dinâmica espaço-temporal das mudanças no uso do solo e na cobertura das terras dessa bacia, considerando os anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2018; (ii) levantar e sistematizar um banco de dados espaciais georreferenciados acerca da erosividade das chuvas, da erodibilidade dos solos, do fator topográfico, e dos fatores cobertura/uso e práticas de manejo para o geoprocessamento em escala de semidetalhe da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS/USLE); (iii) relacionar a variabilidade espaço-temporal das estimativas de perda de solos (EUPS/USLE) com as mudanças na cobertura e uso considerando os anos supracitados, bem como os condicionantes naturais da bacia; (iv) avaliar os impactos das práticas de manejo convencional e conservacionista nas estimativas de perda de solo (EUPS/USLE); (v) avaliar e propor cenários de práticas de manejo conservacionista que resultem na redução das perdas de solo por erosão laminar; e (vi) aplicar e relacionar as práticas conservacionistas do PPA na redução de perda de solos em cada propriedade rural da bacia.

A primeira hipótese desta pesquisa pressupõe que na bacia das nascentes do rio Araguaia ao longo dos anos analisados, as áreas antrópicas sofreram gradativa expansão em detrimento das áreas de vegetação natural e, conseqüentemente, resultarem no gradativo aumento na perda de solo da bacia.

A outra hipótese é que a modelagem de cenários conservacionistas de manejo do solo na bacia das nascentes do rio Araguaia, com base nos princípios do Programa Produtor de Água (ANA), apresenta significativa redução na estimativa de perda de solos em relação ao manejo antrópico convencional (não conservacionista).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS-METODOLÓGICOS

2.1 - SISTEMAS GERAIS E MODELOS

Sistemas e modelos estão relacionados pela busca do entendimento dos sistemas ambientais, tendo como objetivos a compreensão de sua estruturação e funcionamento dos fenômenos da natureza, por meio de simplificações de relações da realidade que possam apresentar características ou interações importantes, que possibilitem prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução (CHORLEY & HAGGETT, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Conforme os autores acima apresentam, modelos são utilizados nas interpretações das dinâmicas e evoluções geomorfológicas, nos processos envolvidos nas bacias hidrográficas, nos estudos climatológicos, bem como também em sistemas de informações geográficas (SIG).

A compreensão (em campo) do comportamento conjunto desses fatores e suas múltiplas variáveis é possível, dentre outras formas, através das mensurações e monitoramentos sistemáticos e empíricos, como a vazão dos rios, turbidez da água, indicadores de qualidade da água (IQA) e em especial, por fatores relacionados à erosão dos solos, dentre outros.

A modelagem em conjunto com as geotecnologias permitem análises, desde aspectos da evolução dos relevos, simulação de cenários de suscetibilidade ambiental, à feições específicas do comportamento hidrológico, tendo por base relações matemáticas efetuadas a partir de dados obtidos dos fatores físicos dos ambientes, permitindo quantificar e conseqüentemente qualificar o comportamento das mudanças ambientais (FERNANDES, 2016; VIEIRA e MARTINS, 2016).

A modelagem por sua vez, não substitui a função das estações físicas de monitoramento, tampouco substituem as mensurações, monitoramentos e análises em campo (que em muitos casos já correspondem a modelos da realidade). No entanto, consiste numa robusta metodologia de análise dos fatores naturais e suas interações nos processos ambientais, que permite avaliar o comportamento de um

determinado sistema, ou simular e prever cenários dos mesmos (MULLIGAN e WAINWRIGHT, 2013; FERNANDES, 2016).

Para Chorley & Hagget (1967), os modelos podem se apresentar na forma de uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma ideia estruturada, ou ainda uma função, uma relação ou uma equação. São uma forma de organização ou interpretação simplificada da realidade, que teoricamente apresenta de forma genérica características ou relações importantes.

Por outro lado, os modelos consistem em aproximações altamente subjetivas da realidade; devido à seletividade dos fatores em análise que não incluem todas as observações ou medidas associadas; por obscurecerem detalhes acidentais; e desta forma permitem o aparecimento de aspectos essenciais da realidade (CHORLEY; HAGGET, 1967).

Em geografia física, os modelos assumem importância na análise integrada dos diferentes ramos desta ciência, como geomorfologia, climatologia e pedologia, buscando compreender a contribuição e a influência dos agentes de controle dos ambientes; como os tipos de solos, intensidade pluviométrica, relevos, cobertura vegetal e outros. Possibilitam um entendimento (recorte) dos processos de evolução da paisagem, suas consequências e intensidades, e em alguns casos podem auxiliar na previsão de catástrofes (VIEIRA; MARTINS, 2016)

Um modelo é uma abstração da realidade ou de um sistema real, é uma simplificação em que apenas os componentes considerados significativos para o problema em questão são representados no modelo. A modelagem possibilita a exploração do comportamento de objetos ou processos e suas interações. É um meio de melhor compreensão e geração de hipóteses, e através de experiências numéricas, estas podem ser testadas e os resultados previstos (MULLIGAN; WAINWRIGHT, 2013).

A modelagem não é uma alternativa à observação empírica. Em alguns casos ela se apresenta de maneira complementar à esta, em virtude de uma diversidade de limitações, como na indisponibilidade de dados de monitoramentos de campo, custeamento de pesquisas de campo, dificuldades de acesso e outros.

Pode ser uma ferramenta poderosa na compreensão de observações, bem como, no desenvolvimento e teste de teorias (MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, J., 2013).

Os modelos são muitas vezes utilizados como uma ferramenta para a integração do entendimento em escala temporal e, portanto, também adequados para a predição e modelagem de períodos pretéritos. Em ambos os casos, a qualidade da informação (p. ex: escala espacial) é determinante para a representatividade de uma modelagem (MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, J., 2013).

A resolução dos dados é fator imprescindível para a representatividade do processo de modelagem, ou seja, quanto mais detalhada e localizada a informação espacial, quanto mais apropriada ao modelo for a delimitação da área de estudo, quanto melhor particularizado o uso do solo, quanto melhores forem os dados climáticos (temporais e espaciais), mais expressiva será a modelagem.

A modelagem matemática de ambientes, bem como os modelos em sua particularidade, fornecem métodos para entender e prever as operações de sistemas que por vezes não são possíveis de análise por métodos experimentais ou de controle de manipulação, em virtude de razões práticas e políticas, ou por sua complexidade, escala espaço-temporal, ou ambos (DEMERITT; WAINWRIGHT, 2005).

Os modelos permitem a averiguação do funcionamento de sistemas, de modo a torná-los entendíveis, visíveis, além de demonstrar as relações entre seus componentes. Na geografia física, é um instrumento utilizado na quantificação dos elementos e relações das organizações espaciais, sendo um instrumento para melhor compreensão da realidade e suas dinâmicas ou de previsões de cenários (passado ou futuro) em diversas escalas temporais e espaciais. A modelagem apresenta forte relação com a constatação de teorias e com a abordagem sistêmica (Christofolletti, 1982).

Os modelos exercem funções, e de modo geral constituem elos entre os níveis de observação e os teóricos. A função psicológica é uma das mais importantes, possibilitando que determinado grupo de fenômenos seja visualizado e compreendido. A função lógica permite explicar o funcionamento de um fenômeno, geralmente a

partir da simplificação deste. A função normativa permite a comparação entre fenômenos familiares. A função sistemática apresenta a realidade em termos de sistemas interligados. Os modelos ainda possuem a função construtiva, na compreensão de que eles estabelecem degraus na construção de leis e teorias (CHORLEY; HAGGET, 1967; VIEIRA, 2016; FERNANDES, 2016).

O entendimento da modelagem passa pela compreensão de que os modelos não representam a realidade em sua totalidade, podendo corresponder a arranjos simplificados da realidade que apresentam ou evidenciam feições ou relações importantes ou de maior interesse de investigação (CHORLEY e HAGGETT, 1975). A partir do exposto, Fernandes (2016) considera que o modelo representa a visão e interesse da pesquisa sobre o sistema em estudo e a maneira como se percebe e compreende essa realidade, tendo por base o estágio de evolução teórico bem como do modelo a ser utilizado.

Para Fernandes (2016) nas últimas décadas, o uso de modelos vem se consolidando enquanto importante instrumento de análise de pesquisas em geografia física, em especial, na simulação e análise de processos atuantes e formas resultantes. Por outro lado, esta mesma pesquisa tem buscado uma discussão mais crítica à respeito da ferramenta modelagem.

A modelagem se relaciona diretamente com a decisão daquilo que será modelado, diante da compreensão da complexidade de um sistema, tendo em busca resultados representativos (FATICHI et al., 2016). Os objetivos de uma modelagem podem variar desde uma simulação da condição ou resultante de determinada configuração espacial, até análises temporais da evolução de determinado fenômeno.

Desta forma, pode-se concluir que a subjetividade é intrínseca ao processo de modelagem, uma vez que a pessoa responsável pela modelagem é quem irá definir as hipóteses daquilo que se buscará modelar (FERNANDES, 2016; VIEIRA, 2016).

Os modelos de predição são comumente empregados em estudos hidrológicos. É bastante usual a aplicação destes na simulação de cenários futuros, em especial aos

possíveis efeitos causados em função das práticas de uso e manejo do solo (FERNANDES, 2016).

Neste sentido, a modelagem hidrossedimentar na bacia hidrográfica das nascentes do Araguaia (GO/MT) objeto de estudo deste trabalho, buscará evidenciar as consequências (processos erosivos) em razão do manejo agropecuário implementado nesta região, bem como fará simulações de cenários com base em práticas conservação dos solos, buscando compreender as principais práticas no abatimento dos processos erosivos.

2.1.1 - Sistemas e Modelos em geografia física

Para Fernandes (2016) o debate a respeito dos tipos de modelos em geografia se apresenta de modo complexo e confuso, além de ter apresentado pouca evolução teórica e escassa literatura brasileira, e ainda prevalecer por quase cinquenta anos, sem grandes aprimoramentos à classificação de Chorley e Hagget (1967), sendo esta ainda bastante utilizada nos dias atuais.

Ciente desta realidade, a descrição a respeito da tipologia de modelos abaixo, está embasada no trabalho dos autores acima, bem como no de Christofolletti (1999).

De modo geral, os modelos podem ser divididos entre descritivos e normativos. Os primeiros permitem modelagens essencialmente estáticas que se concentram nas características do equilíbrio estrutural, ou dinâmicas, onde os processos e funções se concentram através do tempo, e destes se pode resultar os modelos históricos. Modelos descritivos se relacionam ao ordenamento de dados empíricos, podendo ser chamados de modelos de dados, classificatórios (taxonômicos), ou de projetos experimentais (CHORLEY & HAGGET, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos normativos estão relacionados a análises sob certas condições estabelecidas (experimentais, testes, simuladores), em muitos casos se baseiam em situações mais familiares como modelo para outras menos familiares, tanto nas escalas espacial ou temporal, e possuem forte função previsora.

MODELOS	
DESCRITIVOS	NORMATIVOS
Estáticos (concentrados equilíbrio estrutural)	modelagem sob condições controladas, buscam prever cenários
Dinâmicos (concentrados nos processos e funções através do tempo)	

Na perspectiva da análise ambiental, sistemas e modelos podem se aplicar a uma grande variedade de contextos, e podem ser classificados conforme o material que são constituídos (concretos e experimentais), onde conseguem simular aspectos do mundo real em escala reduzida.

Também se apresentam na forma de modelos teóricos, simbólicos, conceituais ou mentais. Estes se constituem enquanto afirmações formais, do tipo matemático em termos lógicos.

O desenvolvimento de sistemas e modelos, em especial aplicados à Geografia física se deu muito em função de trabalhos voltados a Geomorfologia. Aparentemente, Chorley e Haggett (1967) consideram que para cada tipo de sistema existam seus tipos de modelos específicos, aplicados a análise dos ambientes. Já Vieira (2016) os trata como sinônimos.

Assim, o sistema simplificado de modelo conceitual, com base em transformações no tempo e no espaço, se desdobrou no sistema análogo natural (concentra-se na dissecação das partes, supostamente integrais); examinadas por um sistema físico (abordagem por uma concepção ampla); onde o fenômeno estruturado, inicialmente passa a ser analisado no sistema geral (completo).

SISTEMAS/MODELOS		
<u>ANÁLOGOS/NATURAIS</u>	<u>FÍSICOS</u>	<u>GERAIS</u>
traduzem aspectos de um determinado fenômeno em um sistema análogo natural	baseiam na dissecação/estudo do funcionamento de cada parte e as interações entre elas, levando-se a uma síntese completa do todo funcional”	fornece um quadro global do sistema, estabelecendo o grau de conhecimento sobre as partes componentes, interações entre os elementos e o funcionamento interativo entre as entradas e saídas

Sistemas análogos naturais

Representam um dos métodos mais comuns para análise geomorfológica, onde buscam considerar aspectos imediatamente observáveis, de maneira simples, como objetos agrupados a fim de considerar algumas afirmações gerais. Dividem-se em duas classes, os análogos históricos (consideram os fenômenos como parte de uma sequência ao longo do tempo; individuais, mas inter-relacionado); e análogos espaciais (relacionam um conjunto de fenômenos a outros; consideram que a comparação de um fenômeno em áreas semelhantes permite generalizações mais confiáveis).

Sistemas físicos

Se fundamentam pela dissecação da estrutura do problema geomórfico em partes supostamente complementares, acreditando que o funcionamento de cada parte e suas interações possam ser analisadas adequadamente, na busca de uma síntese completa do todo funcional. Estes se dividem em modelos experimentais, matemáticos e de projetos experimentais.

SISTEMAS FÍSICOS/MODELOS		
<u>MODELOS EXPERIMENTAIS</u>	<u>MODELOS MATEMÁTICOS</u> (determinísticos e estocásticos)	<u>MODELOS DE PROJETOS EXPERIMENTAIS</u>
simulam condições naturais para análise em detalhe	expressam a natureza por meio de equações matemáticas	experimentações com base em dados, capazes de generalizações

De estimado valor, os modelos experimentais (concretos) representam fisicamente partes da realidade sem escala, examinados em grande detalhe. Constituem modelos imitativos de um segmento do mundo real, muitas vezes sendo compostos dos mesmos materiais, em condições experimentais simplificadas, sendo o tempo um fator de grande importância. Apresentam alguns problemas escalares por afetarem relações entre certas propriedades do modelo e do mundo real. Estes podem ser corrigidos, reduzidos ou eliminados, por meio de distorções em atributos, combinações de atributos sem dimensões, mudanças dos meios de um modelo, em muitos casos causando mudanças radicais, onde tais correções podem se comportar como modelos concretos análogos.

Sistemas gerais

Apresentam uma abordagem sistêmica do estudo das formas de relevo, com base na compreensão da totalidade através dos componentes (partes), interações e funcionamento interativos entre *inputs* e *outputs* do sistema. Por outro lado, o conhecimento em detalhe das operações dos componentes de um sistema ambiental, traz grandes contribuições na melhor escolha de um modelo adequado de sistema geral (CHORLEY & HAGGETT, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Nestes, em especial, sob análise de sistemas geomórficos (conjunto integrado de formas de relevo), se considera que processadas as entradas (input) de energia e matéria, e dada a resultante de saída (output), é possível prever tipos de respostas em relação à sua organização interna. Os sistemas gerais se subdividem em sistemas sintéticos, sistemas parciais e caixa-preta.

SISTEMAS GERAIS/MODELOS		
<u>SINTÉTICOS</u>	<u>PARCIAIS</u>	<u>CAIXA-PRETA</u>
apontam aspectos cruciais dos sistemas geomórficos em busca de sínteses	Requerem informações específicas a respeito de inter-relações geomórficas, para uma compreensão geral	exigem pouca ou nenhuma informação detalhada dos componentes do sistema havendo o interesse na natureza das saídas resultantes das diferentes entradas

Os sistemas sintéticos se relacionam com a identificação de características (supostamente) decisivas a respeito da estrutura dos fenômenos geomórficos, assim como sua amostragem e análise, e por outro lado, possuem forte identidade com os modelos de projetos experimentais. Tem como objetivo principal a síntese da estrutura analisada e a generalização de suas conclusões, buscando produzir modelos de processo-reação (CHORLEY & HAGGETT, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999; VIEIRA, 2016).

De caráter prático, os sistemas parciais estão associados à solução de problemas relacionados às ciências da Terra. Para estes, não se faz necessário o conhecimento em detalhe do funcionamento interno das partes que formam um sistema geomórfico, mas informações específicas a respeito das inter-relações entre essas partes, a fim de permitir a compreensão do comportamento de todo o sistema, sempre com a finalidade de estabelecer relações matemáticas entre as entradas e saídas (input e output) dos sistemas, sendo suas resultantes utilizadas para prever e compreender características do comportamento de outros sistemas parecidos, ou do próprio sistema em distintos momentos (CHORLEY & HAGGETT, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999; VIEIRA, 2016).

Os sistemas caixa preta, exigem pouca ou nenhuma informação detalhada a respeito dos componentes de um sistema, pois se concentram nas resultantes da natureza das saídas consequentes de diferentes entradas. Por sua vez, estes se assemelham aos modelos caixa cinza (sistema parcial) e à caixa branca (sistema sintético). A falta de informações detalhadas a respeito dos processos e padrões

atuantes nas transformações dos relevos não constitui uma desvantagem para este tipo de modelo, pois possibilitam a construção de objetivos maiores na ausência dessa lacuna.

2.1.2 - Modelagem e metodologia

Para Christofolletti (1999), a modelagem pode ser considerada como instrumento de procedimento metodológico voltado à pesquisa científica, haja vista, que a construção de modelos que visam investigar sistemas ambientais se configuram enquanto expressão de hipóteses científicas que requer avaliações teóricas sobre o sistema ambiental pesquisado.

Neste sentido, a modelagem se apresenta como sendo procedimento próprio à pesquisa científica e a sua elaboração deve ser realizada acompanhando os critérios e normas da metodologia científica.

Tais procedimentos analíticos se relacionam à metodologia científica no campo do positivismo lógico ou neopositivismo, e desta forma, a modelagem de sistemas ambientais se insere como procedimento metodológico hipotético-dedutivo, pois se expressa em virtude de hipóteses ou de esclarecimentos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O processo de modelagem requer o levantamento de hipóteses (sintéticas, simplificadas) que visem explicações quanto aos processos modelados. Às hipóteses iniciais se fazem necessárias que evitem considerar aspectos pouco relevantes, enquanto por outro lado, também se busca evitar a supressão de aspectos essenciais do funcionamento de sistemas ambientais (FERNANDES, 2016).

Para Haggett e Chorley (1967), modelos são aproximações subjetivas de uma realidade, pois não englobam todos os processos usualmente conhecidos de um sistema ambiental, por outro lado, evidenciam aspectos relevantes destes, ao passo que ofuscam detalhes casuais pouco relevantes.

Neste sentido, por exemplo, na modelagem de processos erosivos ou perda de solos, o fator escalar seja espacial ou temporal é extremamente relevante na busca de

compreensão dos fenômenos. Conforme já citado, há uma diversidade de modelos com a finalidade de representar processos de erosão dos solos (EUSLE/USLE, SWAT, WEPP), cada um com sua metodologia própria.

O processo de modelagem possibilita relações entre variáveis ambientais na perspectiva de descrever o comportamento desejado no âmbito de um sistema, neste contexto, um modelo é construído por um conjunto de regras semi-formais orientando um caminho em busca da compreensão de fenômenos. Não se tratam de regras mecânicas, tampouco guias de passo-a-passo em que hajam garantias de que o modelo expressa a realidade, ou que chega ao resultado final (CHRISTOFOLETTI, 1999).

2.1.3 - Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos se classificam como determinísticos, estocásticos e empíricos. Se apresentam como uma abstração, pois interpretam as forças, eventos, dinâmicas, processos e interações físico-ambientais (p. ex.: processos erosivos, escoamento superficial, sedimentação, processos fluviais, ou dinâmicas de feições geomorfológicas), por meio de equações formadas por variáveis, parâmetros e constantes matemáticas. Os resultados são consequência direta dos dados (variáveis) de entrada, resultando sempre em dados de saída únicos, sendo esta relação entrada/saída invariável (CHORLEY & HAGGETT, 1967; FERNANDES, 2016).

Estes por sua vez apresentam caráter bastante simplificado (com poucos atributos) e se baseiam em idealizações a respeito dos fenômenos naturais ocorridos sobre a superfície terrestre. Tais fenômenos possuem grande semelhança com modelos funcionais, onde é possível prever características da realidade muitas vezes despercebidas (FERNANDES, 2016).

MODELOS MATEMÁTICOS		
<u>DETERMINÍSTICOS</u>	<u>ESTOCÁSTICO</u>	<u>EMPÍRICO</u>
As interações nos sistemas ambientais são	Os parâmetros e variáveis dos sistemas	Com base em dados disponíveis (laboratório ou

determinadas por leis físicas, e podem ser analisadas e mensuradas matematicamente	ambientais se relacionam a probabilidade de ocorrência de eventos	experimentos de campo), estabelece-se relações matemáticas e estatísticas entre as variáveis
--	---	--

Os modelos matemáticos determinísticos se baseiam em observações empíricas, ou em leis físicas que descrevem as dinâmicas dos sistemas físicos. São construídos a partir de deduções da experiência ou da intuição do modelador sobre o comportamento das mudanças naturais nas superfícies. Destes, os mais simples modelos são referentes às transformações dos perfis de vertentes sob várias situações. Por outro lado, algumas expressões determinísticas podem abranger todas as variáveis de uma situação complexa natural (CHORLEY & HAGGETT, 1967; FATICHI et al., 2016).

A clássica Equação Universal de Perda de Solo (EUPS/USLE) desenvolvida em 1965 e bastante adequada a estudos de erosão laminar (Wischmeier e Smith, 1978), conforme Fernandes (2016), consiste num exemplo de modelo determinístico com base empírica e, se tornou uma das equações mais utilizadas na literatura desde então.

Esta equação/modelo estima a perda de solo por meio de valores locais e fatores relacionados ao uso da terra, erodibilidade dos solos, condições climáticas, características do relevo e, se consolidou por ter sido amplamente utilizada e testada numa diversidade de localidades, formando um vasto banco de dados e análises estatísticas gerais, verificando-se bons resultados a partir da utilização desta equação, bem como seu caráter universal (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Os modelos *Water Erosion Prediction Project* - WEPP (Nearing et al., 1989) e *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT (Arnold e Srinivasan, 1998), são também exemplos de modelos determinísticos que simulam processos erosivos. Apresentam formas distintas de simular a erosão dos solos, mas possuem em comum bases físicas para analisar os processos inerentes, como por exemplo, equações de transporte de água e sedimentos (FERNANDES, 2016).

Já os modelos matemáticos estocásticos ou estatísticos são expressões formadas por variáveis, constantes matemáticas, parâmetros, além de componentes

aleatórios provenientes de flutuações imprevisíveis de dados da observação ou da experimentação. Nestes, se considera a probabilidade de ocorrência de eventos aleatórios, e desta forma, a consideração de incertezas. Numa simulação estocástica, os mesmos dados de *input*, podem gerar diferentes resultados de *output* (CHORLEY & HAGGETT, 1967; RENARD et al., 2013).

Por sua vez, os modelos matemáticos empíricos não possuem suas relações derivadas de teorias ou leis físicas. Expressam relações a partir de dados empíricos (experimentos, monitoramento, mensurados), e através de correlações estatísticas (regressões lineares e funções) simulam por exemplo, evolução de canais hídricos, rastejo nas vertentes, processos erosivos, entre outros. A falta de bases físicas é uma das críticas à este modelo, baseado essencialmente em análises estatísticas (FERNANDES, 2016).

Conforme Fernandes (2016), os modelos matemáticos podem ainda ser classificados como distribuídos e concentrados. Neste sentido, os modelos distribuídos compreendem as variações espaciais dos atributos envolvidos em suas simulações, por exemplo, em modelagens em ambiente SIG cada célula apresenta valores individuais dos atributos espaciais envolvidos (precipitação, solo, uso do solo, declividade). Em geral, modelos desenvolvidos em base física, tendem a ser distribuídos.

Por outro lado, os modelos concentrados, relacionam suas variáveis através de valores médios dos atributos, desta forma, apresentando valores constantes para toda a área de estudo (p. ex: bacia hidrográfica). É possível considerar que certas modelagens apresentarão caráter semi-concentrado, em que parte do modelo apresenta variáveis distribuídas e parte concentrada (CHRISTOFOLETTI, 1999; FERNANDES, 2016).

Em relação a modelagens que envolvem a escala temporal, os modelos podem ser classificados como transientes, sendo aqueles que buscam simulações em relação ao tempo; e do contrário, os modelos de equilíbrio (*steady-state*) em que a variável tempo não é fator de prioridade (FERNANDES, 2016).

2.2 - PROCESSOS EROSIVOS

Segundo Morgan (2005), a erosão dos solos é um processo de duas fases que consiste no desprendimento de partículas originárias da massa do solo com consequente transporte por agentes erosivos como água corrente e vento, havendo ainda uma terceira fase, quando não há mais energia disponível para transportar as partículas, onde ocorre a deposição.

Para Castro (2004) os processos erosivos acontecem naturalmente ou antropicamente nos ambientes, consistindo no desprendimento e transporte de partículas dos solos, de sedimentos e das rochas. São desencadeados pelo impacto das chuvas nos solos, pelo escoamento superficial, escoamento concentrado de águas subterrâneas, fluxo dos rios contra suas margens, impacto dos mares sobre os rochedos, escoamento do gelo em direção à jusante, ação abrasiva e transporte dos ventos, fluxo concentrado de canalizações em encostas, e até pelo pisoteio dos animais sobre o solo. Os processos erosivos podem ser de natureza pluvial, fluvial, marinha, eólica, antrópica e outras.

Esta mesma autora acrescenta que os processos erosivos, em virtude da desagregação seguida do transporte das partículas do solo, sempre trazem como consequência a deposição, um fenômeno denominado sedimentação, que se consolida quando não há mais energia para o transporte das porções de solos retiradas de áreas à montante formando depósitos de sedimentos à jusante. Este processo quando no tempo geológico e dada a consolidação dos sedimentos e transformação destes em rochas, pode formar as bacias sedimentares. No caso de erosões aceleradas por consequência da ação antrópica, os sedimentos se depositam nos fundos de vale, em porções rebaixadas das encostas na forma de areais, nas margens dos rios, e nas porções finais de ravinas e voçorocas, processo conhecido como assoreamento.

Os efeitos locais dos processos erosivos são especialmente importantes em áreas agrícolas, onde a perda e redistribuição do solo, assim como a degradação de sua estrutura, e o declínio da matéria orgânica e nutrientes resultam em uma redução de fertilidade, com consequências para a produção de alimentos e segurança alimentar. Além destes, fora dos locais de erosão desencadeiam-se a jusante sedimentações, que

por sua vez são responsáveis por reduzir a capacidade de drenagem dos rios, aumentando o risco de inundações, e em outros casos, encurtando a vida útil de reservatórios. Um fator bastante crítico em áreas agrícolas consiste no sedimento, que adquire um papel poluente através dos produtos químicos adsorvidos a ele, e pode aumentar os níveis de nitrogênio e fósforo nos corpos d'água e resultar em eutrofização (MORGAN, 2005). El-Swaify (2009) considera que a erosão do solo seja talvez o mecanismo mais grave de degradação nos trópicos, em geral os trópicos úmidos.

Os processos erosivos são controlados, sobretudo pela ação da gravidade, pelas formas de relevo e comportamento do regime pluvial, a intensidade e sazonalidade das precipitações, assim como pela natureza dos solos e sua capacidade em absorver a carga de águas provenientes das chuvas. Outros condicionantes como as formas e extensão das vertentes, gradiente altimétrico, e em especial o manejo imposto aos solos são determinantes no desencadeamento e intensidade dos processos erosivos (BLANCO; LAL, 2008).

Durante as chuvas, as águas inicialmente são interceptadas pelas vegetações, diminuindo o impacto destas aos solos, desta forma, podem se infiltrar, contribuindo para o armazenamento de águas subterrâneas, para o movimento vertical e horizontal destas no solo, ou, percolando para os aquíferos profundos. Quando o solo é incapaz de absorver mais água, o excesso contribui para o escoamento superficial, resultando em erosão por via terrestre ou por calhas e ravinas (MORGAN, 2005). Como consequências, tem-se o comprometimento da recarga dos aquíferos, diminuição da vazão das nascentes, dos córregos e ribeirões, enxurradas, enchentes e assoreamento (CASTRO, 2004).

Os processos erosivos causados por ação pluvial tem especial efeito nas áreas de clima tropical onde os totais pluviométricos são mais elevados que outras regiões do planeta. Nestas áreas, as ações erosivas se tornam mais intensas quando do desmatamento das vegetações naturais em substituição à ocupação agropecuária, deixando os solos mais expostos à intensidade energética das chuvas (GUERRA, 1999).

Este autor destaca algumas etapas que configuram a formação de erosões, que se iniciam com o desprendimento das partículas do solo, a selagem das camadas superficiais do solo, infiltração seguida de saturação, escoamento superficial difuso e/ou concentrado.

Para Morgan (2005), a gravidade da erosão depende da quantidade de material fornecido pelo desprendimento ao longo do tempo e da capacidade dos agentes de erosão em transportá-los.

Os diversos impactos ambientais negativos da conversão das vegetações em culturas anuais refletem a necessidade de aprimoramento dos sistemas de gestão conservacionistas em relação aos sistemas de produção agropecuários. É por causa dos benefícios potenciais de sistemas arbóreos e/ou de outras vegetações perenes que, sistemas agroflorestais e sistemas agrossilvopastoris são percebidos como sendo potencialmente mais eficazes em termos de conservação do que os sistemas de cultura convencional estritamente anuais (EL-SWAIFY, 2009).

2.2.1 - Erosão Laminar

A deflagração de processos de erosão hídrica ocorre em grande parte, em virtude do impedimento ou dificuldade da infiltração das águas pluviais nos solos, em grande parte devido ao selamento superficial. Este, contribui para que fluxos hídricos superficiais se intensifiquem, favorecendo a ruptura e desprendimento de porções dos solos e conseqüentemente ao transporte destas à jusante das encostas. Este selamento é consequência dos estágios iniciais dos processos erosivos, como o salpico (especialmente de partículas finas), desprendimento e desagregação de partículas e agregados do solo, que respondem pela diminuição da porosidade nas camadas superficiais dos solos (GUERRA, 1999; BROOKS, 2005).

O escoamento superficial das águas pluviais nas encostas é também decorrência do armazenamento de umidade nos solos, que quando excedido por consequência de chuvas antecedentes, dificulta a infiltração das águas de chuvas subsequentes nos solos. De modo geral, este escoamento deriva da intensidade das

chuvas ser maior que a capacidade de infiltração. Os fluxos derivados deste escoamento usualmente se apresentam na forma de massas de cursos de água anastomosados ou trançados, difusos ou concentrados, podendo ou não formar canais na superfície dos solos. A cobertura vegetal se apresenta como um dos fatores de maior importância na regulação ou minimização do escoamento superficial e de proteção do solo contra os impactos das chuvas (GUERRA, 1998; MORGAN, 2005).

O fluxo hídrico sobre a superfície do solo, ou seja, o escoamento superficial difuso das águas combinado com o impacto das gotas de chuva provoca erosão laminar ou erosão em lençol, uma modalidade erosiva que forma uma camada semi-suspensa de água e partículas de solo sobre a superfície, retirando imensas quantidades de material pedológico (BROOKS, 2005).

Para Salomão (1999) os processos de erosão laminar são deflagrados em função de práticas convencionais de uso e ocupação do solo, sendo controlados por fatores naturais dos ambientes, em especial o regime pluvial, tipos de cobertura vegetal, topografia e tipos de solos.

Este tipo de erosão habitua ser de difícil percepção em pequena escala de tempo, tornando-se identificável muitas das vezes, quando as raízes das vegetações se tornam expostas. Uma das principais características da erosão laminar é a retirada das camadas férteis do solo, correspondendo ao tipo de erosão responsável pelas maiores perdas de solo (BROOKS, 2005).

Quanto maior a turbulência (provocada pelo volume de partículas em suspensão) e velocidade do fluxo de água superficial, sendo estas capazes de romper a resistência do solo à erosão, maior o potencial erosivo da erosão laminar. Em solos arenosos, apesar de apresentarem alta porosidade, e baixa proporção de partículas argilosas responsáveis por maior coesão entre as partículas do solo, apresentam por sua vez efeitos erosivos amplificados (GUERRA, 1998; SALOMÃO, 1999).

Como indicadores da erosão laminar, é possível relacionar: a remoção dos horizontes orgânicos superficiais dos solos (horizontes A, O e H) e sobreposição destes horizontes por colúvios originários de erosão remontante; áreas com déficit ou

ausência de vegetação em regiões sem deficiências de umidade e fertilidade; assoreamento recente de cursos hídricos (BACELLAR, 2000).

Guerra (1999) afirma que as erosões laminares podem contribuir para a formação de micro canais hídricos na superfície dos solos, denominados sulcos, que podem evoluir a ravinas e conseqüentemente a processos erosivos de maiores proporções, como as voçorocas.

2.2.2 - Erosão Linear

Outra modalidade erosiva, derivada de fluxos hídricos concentrados, denominadas erosões lineares são de fácil identificação nas paisagens e podem ser percebidas na forma de rasgos ou entalhamentos na terra, por vezes extensos, rasos ou com profundidades suficientes para atingir as águas subterrâneas. Quando em estágios bastante evoluídos estas formas erosivas além da perda de imensas quantidades de solos em suas diversas camadas, criam pontos de exfiltração e por conseqüência à instalação de fluxos hídricos, em geral perenes, oriundos das águas subsuperficiais, desencadeando processos de erosão remontante (BACELLAR, 2000).

As erosões lineares ou erosões em canais se caracterizam conforme critérios dimensionais e evolutivos, podendo-se identificar três estágios básicos: sulcos, ravinas e voçorocas, esta última sendo a forma mais evoluída e de maior impacto hidroambiental. Diferem quanto à profundidade, e aos mecanismos erosivos decorrentes do escoamento superficial e/ou subsuperficial (IPT, 1986; GUERRA, 1999).

A classificação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1986), define sulcos como canais rasos formados pela concentração de fluxos do escoamento superficial, passíveis de correção por operações agrícolas usuais. O aprofundamento e evolução destes originam as ravinas, que correspondem a feições incisivas de maior profundidade que os sulcos e aspecto alongado, podendo se estabilizar em função da profundidade do nível de base, em geral, apresentam porção terminal em forma de leque deposicional e não podem ser corrigidas apenas com manejo de maquinário. As voçorocas podem ser descritas como o estágio mais crítico da erosão linear, não

necessariamente evoluem das ravinas, pois são originadas tanto pelo escoamento superficial como subsuperficial (BACELLAR, 2000; MORGAN, 2005).

Uma ravina se forma em terrenos declivosos, originando leitos entalhados com laterais entrincheiradas, apresentando proporções menores que de um vale. Podem ou não apresentar fluxos ativos, geralmente intermitentes, haja vista que sua escala geográfica não é comumente grande o suficiente para suportar um curso de água perene. A evolução destas formas erosivas se dá no sentido de montante para jusante, em formato retilíneo, em geral, não apresentam ramificações e eventualmente interceptam o lençol freático. Na ausência de práticas conservacionistas de manejo e uso do solo, determinados condicionantes como cercas ou valas de divisa em propriedades rurais, terraços mal dimensionados, trilhas de gado, podem favorecer a concentração do escoamento superficial e desta forma desencadear e/ou intensificar as ravinas (CASTRO, 2004, 2005; BROOKS, 2005).

As ravinas diferem das voçorocas por estas últimas se originarem tanto do escoamento superficial quanto do subterrâneo, ocasionando ao longo do tempo o estabelecimento de formas erosivas semelhantes a extensos vales. As voçorocas são estágios bastante severos da erosão da água, considera-se que suas incisões formam novos canais hídricos abertos em declives de encostas, com remoção de imensas quantidades de material pedológico e instauração de fluxo hídrico perene. Agravam-se às voçorocas a ação de chuvas subseqüentes, frequentemente acarretando em escorregamentos e desmoronamento das paredes laterais, denominados movimentos de massa (CASTRO, 2004; BROOKS, 2005).

As voçorocas formam taludes ou paredes laterais íngremes frequentemente em forma de “U”, especialmente nos seguimentos à montante até os cursos médios, resultando em taludes mais baixos e suavizados. Os fundos são planos onde se instalam fluxos hídricos ininterruptos de águas exfiltradas pelos taludes, denominados de surgências, estes evoluem a pipes (tubos ou dutos) nas porções terminais associados ao nível freático (SALOMÃO, 1999; BLANCO & LAL, 2008).

A formação das voçorocas possui grande relação com a tensão de cisalhamento do fluxo das águas, responsável pelo desprendimento contínuo do leito e das laterais

do canal, e pelo transporte de materiais erodidos ao longo de canais bem definidos. Os solos nus e recém-arados têm o menor esforço de cisalhamento crítico, portanto, são os mais suscetíveis à erosão hidroluvial. O cisalhamento crítico do solo é uma função da textura do solo, densidade aparente, teor de argila, razão de dispersão, plantio direto, raízes de plantas, cobertura de resíduos e declive do solo (BLANCO; LAL, 2008).

Fatores como o desmatamento, superpastoreio, queimadas, práticas agrícolas, associados aos tipos de chuvas e propriedades dos solos, estão diretamente relacionados ao surgimento de voçorocas, promovendo instabilidade nas paisagens por erosão acelerada. Estes podem se relacionar à evolução de ravinas e voçorocas, através do alargamento de suas laterais, aprofundamento dos seus canais que podem atingir os lençóis freáticos, e deposição de sedimentos em canais fluviais (MORGAN, 2005; GUERRA, 2008).

Brooks (2005) descreve as primeiras etapas na gênese de voçorocas, inicialmente pela formação de pequenas depressões nas encostas em função do enfraquecimento da cobertura vegetal (pasto, fogo, desmatamento), propiciando o estabelecimento de fluxo através da coalescência de depressões sucessivas. Concentram-se erosões nas cabeças das depressões, e nestas desenvolvem-se escarpas quase verticais em decorrência de fluxos supercríticos. A turbulência destes fluxos resulta na formação e aprofundamento de canal, colapso e retração da escarpa. A contínua retirada de camadas e imensas porções de solos e respectivo entalhamento da superfície podem atingir o nível freático, encontrando fluxos hídricos subsuperficiais, por vezes associados à macroporos, túneis ou tubos naturais subterrâneos que promovem erosão remontante, que evoluem no sentido de jusante para montante.

Para Morgan (2005) a gênese de voçorocas se relaciona às mudanças climáticas, assim como às alterações do uso do solo, em ambos os casos promovendo desproteção dos solos resultando na ampliação do escoamento superficial das águas pluviais. O excesso e a velocidade destas águas em fluxos superficiais, o aumento das forças de tração sobre as partículas do solo, a inclinação das vertentes favorecem a formação de incisões nas porções superficiais do solo criando canais caracterizados por escarpas laterais. Ao longo do tempo, o declive do canal é reduzido, o canal é

preenchido e as paredes das escarpas se tornam mais planas, promovendo uma fase de consolidação. A deposição aumenta a inclinação e novamente desencadeia uma nova fase de arrasto, e assim, as voçorocas evoluem por sucessivos ciclos de erosão e deposição.

Bacellar (2000) considera que as ações antrópicas sobre os ambientes são suficientes para a deflagração de processos erosivos em escala de voçorocas, no entanto, também as relaciona às consequências das mudanças ambientais.

Em virtude do imenso potencial erosivo associado às voçorocas e demais modalidades erosivas, medidas de contenção e/ou minimização destas, bem como dos impactos ambientais associados se fazem de grande importância na gestão de bacias hidrográficas.

Castro (2004) afirma que medidas de maior envergadura na contenção de voçorocas, não raro requerem obras de engenharia, principalmente quando atingem cidades e estradas.

2.3 - Manejo conservacionista do Solo

O objetivo da conservação dos solos é reduzir a erosão a níveis que garantam o máximo da produção sustentável agropecuária sem ocasionar danos ambientais de larga escala. Considera-se a erosão como um processo natural inevitável, porém passível de controle e redução em níveis toleráveis de perda do solo, sobretudo, em áreas de produção agropecuária (MORGAN, 2005).

Nestas áreas, em virtude da substituição das vegetações naturais e conseqüentemente diminuição da proteção dos solos, é de grande importância a implementação de práticas conservacionistas a fim de minimizar, evitar ou controlar os processos erosivos que possam se instalar, sobretudo nas encostas ou vertentes das bacias hidrográficas.

O principal objetivo de práticas de conservação dos solos consiste em evitar o impacto das chuvas e o desencadeamento do escoamento superficial. Ao diminuir ou evitar as enxurradas, aumenta-se a infiltração, o abastecimento dos mananciais, evita-

se o assoreamento dos rios, além de promover estabilidade ao horizonte A dos solos. As práticas de conservação dos solos podem ser de caráter edáfico, mecânico e vegetativas (LEPSCH, 2011).

A preferência é sempre dada às medidas agronômicas, seja pela maior eficiência, menores custos de implementação e facilidade de adaptação aos sistemas agrícolas ou à restauração de comunidades vegetais biodiversas. O processo de evapotranspiração pelas vegetações reduz o teor de água do solo entre os eventos de precipitação e como consequência, fornece armazenamento adicional para chuvas posteriores e diminui o escoamento. A manutenção de coberturas vegetativas é o melhor meio de atenuar a erosão do solo. (BROOKS, 2005).

A manutenção da fertilidade do solo, adubações e calagem, eliminação ou controle das queimadas, e a rotação de culturas, correspondem a práticas edáficas de conservação dos solos. As adubações adicionam nutrientes e macronutrientes (cálcio e magnésio) ausentes e/ou consumidos favorecendo o desenvolvimento das lavouras, e em outros casos corrigem a acidez dos solos (calcário moído) favorecendo a eliminação de elementos tóxicos (alumínio). O controle ou eliminação de queimadas favorece a proteção do solo e diminuição da volatilização de elementos úteis à nutrição das plantas. A rotação de culturas muitas vezes utiliza de faixas alternadas de cultivo, além de buscar não repetir por muito tempo o mesmo tipo de cultura, alternando cultivares com menor capacidade de extrair nutrientes com outros de maior capacidade, estes últimos deixando resíduos ricos para os próximos cultivos (LEPSCH, 2011).

Alterações no relevo com a utilização de ferramentas e máquinas, diminuição de declives acentuados e/ou vertentes longas, construção de canais e patamares transversais em linhas de nível a fim minimizar a energia das enxurradas consistem em exemplos de práticas mecânicas de conservação dos solos. Outros exemplos destas práticas conservacionistas compreendem o plantio em curvas de nível que agem como sulcos e montículos transversais às vertentes formando obstáculos às enxurradas; terraços do tipo camalhão diminuem a intensidade das enxurradas e favorecem a infiltração destas; e estruturas para o desvio e infiltração das águas que escoam das

estradas são outras formas de promover mecanicamente a estabilidade dos solos (LEPSCH, 2011).

Primavesi (2002) e Morgan (2005) consideram as medidas mecânicas de controle erosivo em grande parte pouco eficazes, especialmente por não impedir o desprendimento de partículas do solo. Seu principal papel é complementar às medidas agronômicas, sendo mais utilizadas para controlar e diminuir a intensidade dos fluxos superficiais, proporcionando maior infiltração. Em geral a implementação de medidas mecânicas apresentam custos relevantes e criam dificuldades para os agricultores. Dentre estas, a exposição de subsolos menos férteis em casos de construção de terraços, resultando em menores rendimentos agrícolas. Em casos de terraços mal planejados ou precariamente implementados, o risco de falhas pode ser mais danoso que a ausência destes nas encostas.

As práticas conservacionistas vegetativas visam controlar a erosão pelo aumento da cobertura vegetal dos solos ou por resíduos vegetais, propiciando a interceptação das chuvas, o aumento da infiltração e diminuição da velocidade das enxurradas, e redução de perdas de nutrientes, além de beneficiar os microrganismos do solo. Destacam-se nestas práticas os reflorestamentos, formação e manejo de pastagens, cultivos em faixas, quebra ventos, cobertura do solo com palhagem (acolchoamento) (LEPSCH, 2011).

Estas práticas utilizam essencialmente as coberturas vegetais na redução dos processos erosivos, no entanto, em virtude das diferenças nas densidades e morfologias, as plantas diferem em sua capacidade de proteger o solo. Em relação à distribuição dos cultivos, os plantios em fileiras são menos eficazes e provocam problemas de erosão mais graves devido à alta porcentagem de solo nu, particularmente nos estágios iniciais de crescimento, e à necessidade de preparar um leito de semente; devem ser combinadas com outras medidas de conservação dos solos (MORGAN, 2005).

Conforme Guerra (1998), o cultivo em curva de nível pode reduzir em até 50% a perda de solo, apresentando maior efetividade em áreas de chuvas de baixa intensidade, e quando em áreas de maior intensidade pluvial esta técnica deve ser

combinada com outras práticas de controle de erosão, como o plantio em fileira de espécies capazes de reter sedimentos.

As práticas conservacionistas de manejo de pastagens são feitas com a rotação de rebanhos de pastos degradados para regenerados, buscando o tempo para que as pastagens se recuperem. Estas não devem ser exploradas a mais de 40-50% do potencial de produção anual de suas espécies mais palatáveis. Deve-se permitir que a vegetação se regenere suficientemente para proporcionar uma cobertura de solo de 70% em momentos de risco de erosão. Embora o sobrepastoreio possa levar à deterioração do pasto e ao aparecimento da erosão, o sub-pastoreio pode resultar na perda de gramíneas nutritivas, muitas das quais se regeneram mais rapidamente quando pastadas (MORGAN 2005).

O descanso das pastagens proporciona o aumento do sistema radicular e consiste numa das mais importantes medidas para conservação dos solos pastoris, no entanto, em solos muito pobres apenas o descanso não é suficiente para o aprofundamento e adensamento das raízes destas forrageiras sendo necessárias adubações fosfocálcicas, adubos de pouca solubilidade em água, farinha de ossos. Pastagens permanentes em solos arenosos podem sofrer erosão com a mesma facilidade que lavouras mal conduzidas. Quanto melhores as pastagens, menores os danos ao pisoteio dos rebanhos e conseqüentemente aos processos erosivos (PRIMAVESI, 2002).

O plantio direto (no-till farming) é uma das mais importantes práticas de manejo conservacionista do solo, especialmente para agricultura de larga escala, e consiste num sistema em que uma cultura é plantada diretamente no solo sem preparo primário ou secundário. Representa um novo paradigma de manejo do solo para a conservação do solo e da água. Trata-se de uma forma extrema de conservação, em que o solo permanece inalterado em todos os momentos, exceto durante o plantio. É uma prática que deixa todos os resíduos de superfície (talos, espigas, folhas, etc.) no solo após a colheita. As ervas daninhas são normalmente controladas com herbicidas, a menos que sejam utilizados sistemas de cultivo adequados, tais como rotações de

culturas e culturas de cobertura, como práticas de conservação de apoio (BLANCO; LAL, 2008).

O plantio direto surge como alternativa ao arado, o qual provoca compactação da camada de solo abaixo da camada revolvida, assim como a exposição da superfície do solo aos raios solares e chuvas favorecendo a erosão acelerada. O plantio direto simula a função das serapilheiras, ao manter sobre os solos palhadas provenientes de culturas anteriores, desta forma, evitam o revolvimento do solo, diminuem o arraste das partículas do solo, aumentam a retenção da umidade e diminuição da intensidade solar sobre as superfícies. Sementes e adubos são distribuídos logo abaixo da palhagem, substituindo assim o revolvimento do solo pelo arado (LEPSCH, 2011).

O plantio direto está entre as principais estratégias de produção agrícola capaz de controlar a erosão do solo e reduzir os custos de lavoura, sendo uma opção única para manter a produtividade e qualidade ambiental. Conserva o solo e a água ao mesmo tempo em que melhora a rugosidade do solo e disponibilidade de matéria orgânica do solo. Sistemas de plantio que deixam pouco ou nenhum resíduo de colheita após a colheita podem afetar as propriedades do solo tão adversamente quanto o preparo convencional. Os resíduos absorvem e amortecem a energia erosiva das gotas de chuva e geralmente melhora as propriedades do solo, impedem o desprendimento de agregados, a selagem da superfície e a formação de crostas, diminuindo assim os riscos do escoamento e erosão do solo (BLANCO; LAL, 2008).

Em suma, ações que mantêm coberturas de material vegetal na superfície do solo protegem contra a energia do impacto da chuva e reduzem a erosão superficial do solo, contribuem para o aumento da rugosidade da superfície do solo, e reduzem a velocidade e energia do escoamento superficial. A erosividade do solo também é reduzida pelo estabelecimento de uma rede de raízes de plantas que aumentam a resistência do solo e melhoram a estrutura do solo através da adição de matéria orgânica. As técnicas mais eficazes para reduzir a erosão do solo são muitas vezes aquelas que combinam as práticas edáficas, vegetativas e mecânicas, em acordo com as necessidades naturais dos ambientes e dos tipos de uso dos solos (BROOKS, 2005).

As formas de conservação dos solos relacionam-se à capacidade de uso das terras, bem como às indicações conservacionistas mais adequadas ao risco de degradação dos solos. Assim, relacionam-se características dos solos, dos relevos e climas de modo a orientar a identificação de oito classes de capacidade de uso das terras que se relacionam às práticas mais adequadas para o controle da erosão dos solos. O quadro 1 ilustra as classes de capacidade de uso das terras (LEPSCH, 2011). Este autor ainda descreve as características dos ambientes conforme cada classe.

Quadro 1 - Classes de capacidade de uso sem riscos para erosão acelerada.

Classe de capacidade de uso	Aumento da intensidade de uso							
	Vida silvestre e ecoturismo	Reflorestamento	Pastoreio		Cultivo			
			Moderado	Intensivo	Restrito	Moderado	Intensivo	Muito Intensivo
I	Apto para todos os usos. O cultivo exige apenas práticas agrícolas mais usuais							
II	Apto para todos os usos, mas práticas de conservação simples são necessárias se cultivado							
III	Apto para todos os usos, mas práticas intensivas de conservação são necessárias para cultivo.							
IV	Apto para vários usos, restrições para cultivo.							
V	Apto para pastagem, reflorestamento ou vida silvestre.							
VI	Apto para pastagem extensiva, reflorestamento ou vida silvestre							
VII	Apto para reflorestamento ou vida silvestre							
VIII	Apto para vida silvestre							

As classes I, II e III, são as classes mais indicadas aos usos intensivos, se caracterizam por solos de maior profundidade e declividades planas (classe I) a suavemente declivosas (classes II e III), alternam-se de não suscetíveis a inundações à

riscos moderados a mais pronunciados de erosão. Sugere-se enquanto práticas de manejo calagem, fertilizações iniciais e reposição de nutrientes (áreas planas); plantio em linhas e plantio direto (classe II) e a combinação destas à construção de terraços nas áreas de classe III.

São consideradas terras impróprias para cultivos intensos às que se enquadram nas classes IV, V, VI, e VII, porém, aptas para pastagens e reflorestamentos. Estas em geral apresentam declividades acentuadas ou quando planas são pantanosas ou abundantes em pedras superficialmente. Devem ser mantidas coberturas vegetais e em alguns casos requerem cuidados intensivos a fim de proteção aos processos erosivos.

A classe VIII compõe o grupo de terras impróprias para cultivos, lavouras, pastagens ou florestas comerciais, sendo estas obrigatoriamente destinadas à conservação dos ambientes naturais. Em geral caracterizam-se por áreas muito áridas, declivosas, afloramentos rochosos, dunas, mangues ou florestas.

2.4 - Equação Universal de Perda de Solos (EUPS/USLE)

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE) foi proposta em 1954 pelo Serviço de Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos em colaboração com a Universidade de Perdue. Posteriormente foi revisada por Wischmeier e Smith (1965 e 1978) e consiste em um modelo empírico, cuja finalidade é estimar a perda de solos por erosão laminar em um dado intervalo de espaço e tempo, considerando as condições climatológicas, pedológicas, morfométricas, em especial declividade e comprimento de fluxo e principalmente os tipos de uso e as formas de manejo do solo. Sua primeira versão foi baseada na análise estatística de dados de cerca de 47 localidades em 24 estados localizados nas porções central e leste dos Estados Unidos. A fórmula apresentada para a predição da perda de solos consiste na seguinte equação:

$$PS = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Equação 01.

Em que:

PS = estimativa de perda de solo, em ton/ha/ano;

R = fator erosividade da chuva, em Mj.mm/ha.h.ano;

K = fator erodibilidade do solo, em ton.ha/Mj.mm;

L = fator comprimento de encosta ou rampa, em m;

S = fator declividade da encosta ou rampa, em %;

C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P = práticas conservacionistas, adimensional.

2.5 - Processos erosivos na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia

Na Região Centro-Oeste do Brasil a década de 1970 foi marcada pela conversão das vegetações naturais do Cerrado em áreas antropizadas. Em decorrência do processo de expansão da fronteira agrícola sobre as áreas pertencentes ao domínio morfoclimático Cerrado, a área da bacia hidrográfica das nascentes do Araguaia, em especial sua porção sul passou por profundas transformações no modo de apropriação de suas terras e em sua economia. Créditos rurais, platôs longos e planos, solos profundos facilmente corrigíveis (acidez), disponibilidade de água e a criação de infraestrutura viária foram basicamente os fatores que propiciaram a expansão da agropecuária no Cerrado desde então (DEUS, 2002; MIZUMOTO, 2009).

Diante dessas transformações e respectivos impactos ambientais, Castro et al. (2004), elaboraram o “Atlas Geoambiental das Nascentes dos rios Araguaia e Araguinha”. Trata-se de um complexo estudo a respeito da evolução do uso antrópico dessas terras para os anos de 1976, 1999 e 2003, bem como o manejo dos solos, a discrepância entre a classificação das terras e o uso do solo, o mapeamento das erosões, e sugestões para o controle das erosões àquela época, dentre outros.

Deste trabalho, destaca-se o mapa de uso do solo do ano de 1976, quando as vegetações nativas representavam a classe predominante, apesar de notória a existência de áreas antropizadas em pecuária. Conforme a autora, neste ano apenas dois focos erosivos foram mapeados. Deste ano em diante, as terras da bacia das

nascentes do Araguaia, bem como grande parte do sudoeste goiano, passaram a configurar um dos principais polos de produção agrícola do Brasil, despontando-se economicamente, bem como o desenvolvimento de seus centros urbanos (DEUS, 2002; CASTRO; XAVIER; BARBALHO, 2004; CASTRO; XAVIER, 2004; CASTRO, 2005).

Para Castro et. al (2004) o avanço das fronteiras agrícolas em direção à bacia das nascentes do Araguaia foi responsável pelo desmatamento da vegetação savânica dos interflúvios desta bacia e redução da vegetação ripária, convertidas consequentemente em culturas agrícolas temporárias que empregam grande quantidade de insumos químicos e maquinários de alta tecnologia para aumentarem a produtividade.

Consequentemente ao processo de ocupação antrópica, focos erosivos foram surgindo paralelamente ao processo de desmatamento na área. A partir da década de 1980 verificou-se o surgimento de duas dezenas focos erosivos lineares que alcançaram milhares de metros de comprimento. Grande parte destas erosões aprofundaram-se até o lençol freático, várias se ramificaram, depositando sedimentos no rio Araguaia e em seus afluentes, soterrando as margens e vegetações ripárias, formaram barragens nesses cursos d'água, causando intensa e rápida degradação ambiental (CASTRO, XAVIER & BARBALHO, 2004; CASTRO & XAVIER, 2004; CASTRO, 2005; LATRUBESSE et al., 2009).

A paisagem que se forma na região das nascentes do rio Araguaia é caracterizada majoritariamente por uma superfície rebaixada e dissecada que compreende colinas amplas e médias, extensos interflúvios, onde predominam Latossolos Vermelho-amarelo e Neossolos Quartzarênicos, altitudes entre 729 a 836 metros, declividades usualmente menores que 14%, caracterizando um relevo em geral plano a suave ondulado onde se encontra a planície do rio Araguaia e seus afluentes. Em contraste a esta área rebaixada e dissecada uma extensa zona escarpada com aproximadamente 100 metros de amplitude altimétrica e declividades entre 20 e 59% marca o limite entre a zona rebaixada e uma superfície de cimeira tabuliforme, denominada Chapada ou Serra do Caiapó onde se encontram altitudes maiores que 800 metros (SOUSA JUNIOR et al., 1983; MAMEDE et al, 1983; NOVAES, et al. 1983).

A substituição da vegetação original savânica pela agropecuária na bacia das nascentes do Araguaia enfatizou a alta suscetibilidade à erosão dos solos da região, em grande parte arenosos, sobrepostos a vertentes suaves e longas, associados ao elevado gradiente hidráulico e o risco de concentração do escoamento superficial e subsuperficial nas áreas de saturação, promovendo fluxos hídricos altamente energéticos, facilmente capazes de romper a estabilidade hidropedológica, o que favorece o desencadeamento de processos erosivos amplos que se intensificam a cada estação chuvosa, CASTRO (2005).

A suscetibilidade aos processos erosivos é razão do arranjo dos fatores físicos e climáticos dos ambientes, dependem da natureza dos solos e rochas, do relevo, das extensões e desnível das encostas, do tipo de cobertura vegetal e do uso e manejo das terras, dentre outros. A interação entre estes fatores controla a evolução e desenvolvimento dos processos erosivos, que se tornam cumulativos uma vez desencadeada a ação erosiva, tornando cada vez mais difícil o seu controle (XAVIER, 2003; CASTRO, 2004).

Em síntese, para a bacia das nascentes do Araguaia, Oliveira (2004) aponta que aproximadamente metade da área (48,61%) apresenta suscetibilidade moderada à erosão laminar, dada a predominância de Neossolos Quartzarênicos de média erodibilidade, e declividades baixas (até 6%). Estas características físicas correspondem, sobretudo, à zona rebaixada e dissecada que se situa entre as escarpas nas bordas da Chapada e o rio Araguaia.

Conforme a autora, outros 22,23% da área desta bacia foram classificados como muito suscetível à erosão laminar, especialmente por apresentar declividades entre 6 a 12% associadas também aos Neossolos Quartzarênicos. Nestas condições a capacidade de uso das terras apresenta problemas complexos de conservação, sendo apropriadas às vegetações naturais e parcialmente favoráveis às pastagens, pois os solos não apresentam aptidão para agricultura tanto pela declividade como pela baixa fertilidade.

As áreas escarpadas foram classificadas como extremamente suscetíveis aos processos erosivos laminares, correspondendo a locais cuja declividade varia de 20 a

59%, sendo áreas cuja capacidade de uso da terra é indicada especificamente à preservação.

O quadro 2 relaciona as classes de suscetibilidade à erosão laminar aos condicionantes físicos da bacia hidrográfica das nascentes do Araguaia.

Quadro 2 - Classes de suscetibilidade à erosão laminar e formas de relevo. Fonte: Oliveira (2004).

CLASSES	ÁREA (%)	RELEVO	SOLOS	DECLIVIDADE (%)
I – Extremamente suscetível	0,92	Escarpas	RL	20 a 45
II – Muito suscetível	22,23	Formas convexas de dissecação	RQ- RQg	6 a 12
III – Moderadamente suscetível	48,61	Formas convexas de dissecação	RQ- RQg	0 a 3 – 3 a 6
IV – Pouco suscetível	6,33	Topos tabulares de Chapada	LV-LVA	0 a 3 – 3 a 6
V – Pouco a não suscetível	21,92	Topos tabulares de Chapada	LV-LVA	0 a 3 – 3 a 6

Além da suscetibilidade à erosão laminar na área de estudo, constatou-se grande concentração de focos erosivos lineares (voçorocas) predominantemente associados aos solos arenosos finos derivados da Formação Botucatu (figura 2). Estas incidências erosivas estão distribuídas especialmente nas porções altas e médias das vertentes, nas amplas cabeceiras de drenagem côncavas dos afluentes do Araguaia, em prolongamento dos canais de drenagem ou perpendicular a eles, e também nas porções finais de vertentes mais declivosas e concavizada. Esta mesma concentração de focos erosivos não é identificada na superfície de cimeira de formato tabular que contorna a porção rebaixada da bacia (CASTRO, 2005).



Figura 2 - Foto montagem Voçoroca Chitolina – extensão maior que 1000m (Castro e Xavier, 2004).

As voçorocas são consideradas formas agudas de erosão acelerada, e também estão associadas a formas precárias de gestão e uso de terras. Estas formas erosivas quando em estágios avançados assemelham-se a vales, são formadas em escala de tempo extremamente acelerada, sendo responsáveis pelo rebaixamento do nível freático e remoção de imensas quantidades de material pedológico presentes nas encostas, transportados e depositados nos leitos dos cursos d'água. Podem chegar a dezenas de metros de profundidade e centenas de metros em extensão. O aprofundamento das voçorocas pode interceptar o lençol freático e gerar um fluxo hídrico em seu talvegue, fator crítico devido à evolução/expansão tanto à montante por solapamento quanto à jusante pelo próprio fluxo hídrico (CASTRO; XAVIER, 2004; BROOKS, 2012).

Bacellar (2000), Guerra (1999), dentre outros, lembram que há controvérsias sobre a ligação entre a erosão laminar e a linear, mas salientam ser possível que tudo comece com a primeira, através de pequenos filetes de água, anastomosados, que podem evoluir para sulcos, estes para ravinas e estas para voçorocas, embora haja casos de voçorocas que já se iniciam como tal.

A pesquisa de Barbalho (2002) revela que o processo de voçorocamento nas nascentes do rio Araguaia tem origens tanto naturais quanto antrópicas. A alta suscetibilidade natural à erosão inerente a esta área se dá dentre outros fatores, pela concentração dos escoamentos superficial e subsuperficial, relacionados a índices pluviométricos com médias em torno de 1.500 mm anuais, somados às atividades de

pecuária e agricultura intensivas e extensivas que pouco ou não utilizam práticas conservacionistas e de conservação do solo, favorecendo a exposição destes, disponibilizando sedimentos ao transporte e deposição nos fundos de vale por ação das chuvas.

A respeito das erosões hídricas, Brooks (2012) considera que a pluviosidade é um dos principais fatores responsáveis pelas causas e desenvolvimento de processos erosivos desta natureza. O trabalho de Santana (2007), nos mostra que as chuvas, sua distribuição, intensidade, concentração, assim como os índices de pluviosidade podem corresponder a 80% das causas erosivas.

O regime de precipitações na bacia das nascentes do Araguaia obedece ao regime geral predominante no domínio morfoclimático do Cerrado, ou seja, chuvas se concentrando no verão (outubro a março) e seca nos demais meses (abril a setembro). Para esta área, Santana (2007) encontrou valores de erosividade acima de $8000 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, considerada forte, ou seja, área bastante suscetível à processos erosivos em função do regime pluvial.

A erosividade relaciona-se à intensidade das precipitações nos ambientes, está associada à capacidade das chuvas em causar erosão. O total das chuvas, a intensidade, o momento e a energia cinética, são alguns parâmetros utilizados para investigar a erosividade (GUERRA, 1998).

A perda do solo está intimamente relacionada com a precipitação, em parte pelo poder de desprendimento das gotas de chuva que atingem a superfície do solo e, em parte, pela contribuição da chuva ao escoamento. A intensidade das chuvas é geralmente considerada a característica mais importante da precipitação no desencadeamento de processos erosivos (MORGAN, 2005).

Blanco e Lal (2011) distinguem a erosividade das chuvas da erosividade do escoamento superficial em relação ao potencial em causar erosão. As partículas de solo presentes no escoamento turbulento também contribuem para o desprendimento de agregados, no entanto, a intensidade das chuvas possui maior poder erosivo do que o escoamento.

Xavier (2003) mostra que cerca de 80,75% das terras que compõe a região das nascentes do rio Araguaia encontram-se em situação que varia de moderadamente a extremamente suscetível aos processos erosivos lineares.

Barbalho (2002) aponta que nesta área, com exceção da área classificada como não suscetível a ravinas e voçorocas, foram identificadas em todas as demais áreas focos erosivos lineares associados predominantemente à presença da ocupação agropecuária.

Castro (2004) ressalta a existência de 14 focos erosivos de grande porte e 6 de médio porte, localizados nas porções rebaixadas das encostas, em prolongamento das nascentes ou perpendicularmente aos canais de drenagem.

Diante do exposto é possível identificar a porção rebaixada e dissecada da bacia das nascentes do Araguaia, como uma área bastante suscetível à deflagração de processos erosivos, sobretudo, em virtude de seus condicionantes naturais, com destaque à pluviosidade, predominância de solos arenosos, extensas encostas e especialmente pelo extenso e intenso uso agropecuário praticado nos latifúndios e propriedades rurais desta área.

3. MUDANÇAS NO USO DO SOLO E COBERTURA DA TERRA (*LAND USE LAND COVER CHANGES* - LULCC)

Mudanças no uso do solo e cobertura da terra/*Land-Use and Land-Cover Change* (LULCC), consistem em modificações antrópicas na superfície terrestre que dentre outros, convertem e/ou substituem as vegetações naturais especialmente em desmatamento, agropecuária e urbanização, alterando a dinâmica dos fluxos nos ambientes, ecossistemas, bacias hidrográficas.

A cobertura da terra refere-se ao material físico na superfície da Terra, como água e vegetação, enquanto a LULCC é um termo mais complexo, fruto da ação humana, decorrente das formas como a sociedade utiliza e maneja a superfície terrestre e seus componentes (uso da terra). A LULCC é impulsionada por fatores como crescimento populacional e migração, desenvolvimento econômico, cultura, políticas regionais e locais, condições ambientais, suas interações e respostas das pessoas às oportunidades econômicas (LAMBIN et al., 2003; FISHER et al., 2005; ELLIS, 2012; ZHOU, 2014; SINGH et al., 2017).

Conforme Singh et al. (2017) a globalização possui forte influência nos processos de mudanças do uso e cobertura da terra, em virtude de sua capacidade de intensificar ou amortecer as forças motrizes da LULCC, e de fortalecer os interesses globais em detrimento dos nacionais e a remoção das barreiras regionais.

Dentre outras, a complexidade da LULCC resulta de interações entre fatores biofísicos, socioeconômicos e de governança que ocorrem em diferentes escalas (PARKER et al. 2008; MEYFROIDT et al. 2014; CAPITANI et. al, 2016).

A perda da biodiversidade por meio de processos como a fragmentação florestal induzida por atividades humanas, alterações nos solos, no ciclo do carbono, e principalmente dos elementos hidrológicos juntamente dos impactos sobre as bacias hidrográficas em decorrência da LULCC constituem nos principais problemas ambientais, pois favorecem, dentre outros, a formação de erosões do solo e poluição por fontes não pontuais (ZHOU, 2014; ZHU, 2014).

Estes processos estão diretamente associados à LULCC através das atividades agrícolas enquanto vetores do desmatamento, diretamente ligados ao crescimento populacional, em virtude das demandas urbanas e internacionais dos produtos agrícolas (SINGH et al., 2017).

Os principais impactos da LULCC refletem em mudanças na hidrologia da bacia hidrográfica. Estes comumente acarretam em diversas consequências adversas, reduzindo a interceptação e infiltração das águas pluviais, diminuindo a evapotranspiração, aumentando o escoamento superficial, a perda de solos agricultáveis, os assoreamentos, a redução ou aumento de vazões e/ou das águas subterrâneas, a redução do rendimento hídrico anual sazonal, as perdas de biodiversidade e mudanças climáticas. A dimensão dos impactos hidrológicos é influenciada pelo tipo de clima, pelas características físicas de cada bacia hidrográfica, relevo, escala e fatores ambientais relacionados (ZHOU, 2014; GUZHA et.al, 2018; OZSAHIN et. al, 2018).

A erosão do solo enquanto fator crítico acarretado pelas mudanças no uso e cobertura da terra (LULCC) consiste numa das principais preocupações ambientais e econômicas que afetam todos os continentes do mundo (CAPITANI et. al, 2016; OZSAHIN et. al, 2018), sendo associada a sérios impactos como deslocamento e transporte de solo para os canais de água, perda de fertilidade e de solos agricultáveis, contaminação química dos solos, das águas subterrâneas e fluviais, diminuição da produção agrícola, dentre outros (PANDEY, 2007; BUTTAFUOCO et al., 2012).

A erosão do solo é tanto resultado de processos naturais e antrópicos, e pode ser influenciada por fatores relacionados à LULCC, juntamente de fatores naturais como clima, relevo, gradiente de declividade, tipo de solos. No entanto, áreas com permanente cobertura vegetal, solos com manejo conservacionista como o plantio direto, sistemas agroflorestais, cobertura florestal tendem a apresentar risco bastante reduzido de erosão do solo (PAIBOONVORACHAT; OYANA, 2011).

Para restaurar a produtividade do solo e evitar que novos danos ocorram, o planejamento, as práticas de conservação do solo, o manejo e a gestão das bacias hidrográficas são fundamentais (PANDEY et. al. 2006).

Para Olson et al. (2008) a LULCC, juntamente da vulnerabilidade dos ambientes, são determinantes das mudanças climáticas globais potencializando impactos rigorosos aos meios de subsistência humanos.

De acordo com Singh et. al (2017), muitos autores identificaram que as atividades agrícolas, têm amplos efeitos sobre o meio ambiente e os recursos naturais e que a LULCC é uma das formas mais importantes pelas quais os seres humanos influenciam o meio ambiente. É também uma das variáveis importantes que resulta no aquecimento global.

As alterações, tanto climáticas quanto de mudança de uso e cobertura da terra implicam em impactos significativos sobre os recursos hídricos, e desta forma, estudos nestas correntes relacionados às bacias hidrográficas tornaram-se importantes nos campos da hidrologia e recursos hídricos (LIU, 2017). Estudos de LULCC e respectivos impactos ambientais com abordagem espacial e social têm sido amplamente investigados (SINGH, 2017).

Segundo Paiboonvorachat e Oyana (2011) ao longo de três décadas, a Mudança de Uso da Terra e Cobertura do Solo (LULCC) ganhou considerável atenção em vários campos da ciência, como no sensoriamento remoto, ecologia política e biogeografia, em especial por constituir no mais importante componente da mudança global. O aumento da emissão de gases do efeito estufa, redução de precipitação, aumento da produção de metano, a erosão do solo, destruição e fragmentação de habitats, são algumas consequências da LULCC (Reid et al. 2000, Rao e Pant 2001, Sen et al.2002, Fox e Volger 2005, Turner et al., 2007).

3.1 - PREVISÃO E MODELAGEM DOS IMPACTOS EM DECORRÊNCIA DA LULCC

Diante da intensidade das transformações ambientais e de seus fluxos em consequência da LULCC, avaliar suas consequências, prever possíveis futuros cenários, consiste em necessidade fundamental na incorporação da gestão das bacias hidrográficas e planejamento do uso da terra, em vista da produtividade, da sustentabilidade e dos processos produtivos que envolvem a LULCC, em especial nos

países em desenvolvimento, onde as taxas de LULCC são mais elevadas (ROUNSEVELL et al. 2012; VERBURG et al. 2013; CAPITANI, C. (2016).

A existência de técnicas de avaliação espacial da erosão do solo permite identificar a distribuição e a intensidade das áreas críticas, e conseqüentemente implantar práticas de gerenciamento e manejo conservacionista do solo com vistas a diminuição das perdas de solo e apoiar a produtividade agrícola. O gerenciamento do uso do solo se torna facilitado a partir do conhecimento da distribuição espacial dos processos erosivos (ZHU, 2014; GELAGAY, H. S. & MINALE, 2016).

Capitani et.al (2016) aponta que a análise de cenários tem sido amplamente aplicada para explorar trajetórias futuras, em diferentes escalas e abordagens, a fim de prever incertezas e a complexidade, que podem ser abordadas em múltiplas dimensões temáticas e identificar uma diversidade de estados futuros potenciais e desejados.

As técnicas de sensoriamento remoto (SR), assim como os sistemas de informação geográfica (SIG/GIS) possibilitam meios de monitoramento e observações terrestres e análise de informações, possibilitando o acompanhamento das dinâmicas que envolvem a LULCC, e das transformações ambientais (MUTTITANON e TRIPATHI 2005; PAIBOONVORACHAT e OYANA, 2011).

Em virtude da complexidade das variáveis que constituem o processo erosivo, prever e mensurar sua magnitude de maneira precisa se faz um grande desafio. Para isso, o sensoriamento remoto é uma ferramenta capaz de fornecer informações precisas sobre vários aspectos da bacia hidrográfica como uso e cobertura da terra, espacialização dos tipos de solo, características de drenagem, bem como, contribui na identificação de processos erosivos ou áreas em potencial, e fornece dados a muitos dos modelos de erosão e escoamento do solo (PARVEY, 2006; PANDEY et al, 2007).

A detecção e análise de mudanças das características da superfície da Terra são fundamentais para o entendimento das conseqüências antrópicas sobre os processos ambientais. Por meio de sensoriamento remoto e dados multitemporais é possível classificar e mapear, e conseqüentemente analisar os efeitos históricos e espaciais de

transformações na cobertura e uso da terra, sobretudo nas bacias hidrográficas, em virtude da interface destas com os processos hidrológicos (BUTT, 2015).

Desta forma, a combinação de dados de sensoriamento remoto e modelos estocásticos apresentam clara conveniência em processos de modelagem e simulação da mudança da cobertura e dinâmica vegetal, erosão do solo, produção de alimentos. O processo de modelagem apresenta amplo potencial para expandir nossa compreensão sobre o funcionamento da paisagem, as restrições biofísicas, a variabilidade climatológica e as dinâmicas econômica e social (Barbosa et al. 2015).

O geoprocessamento tem sido comumente utilizado na avaliação da susceptibilidade do solo à erosão, usualmente com o uso da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS/USLE) em ambiente SIG, dada a possibilidade de espacialização de todos os seus fatores (DURÃES e MELLO, 2016).

A abordagem do sensoriamento remoto (SR) quanto de sistemas de informações geográficas (SIG) integrada à Equação universal de perda dos solos (EUPS/USLE) em escala de bacia hidrográfica, permite a elaboração de mapas temáticos dos fatores EUPS/USLE ($A = R.K.L.S.C.P$), como erosividade da chuva (R); erodibilidade do solo (K); fator topográfico (LS), fator de manejo e cobertura (C) e fator de práticas conservacionistas (P), produzidos respectivamente a partir de dados pluviométricos anuais, mapeamento de solos, modelo digital de elevação, e imagens de satélite, capaz de prever matematicamente a distribuição espacial da erosão do solo (PANDEY et al, 2007; PATIL et a. 2015).

A interação entre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a EUPS/USLE consiste numa robusta ferramenta de análise dos processos erosivos, amplamente utilizada em vasta diversidade de ambientes em todo o mundo como forma de manejo e controle aos processos de perda de solo (FU et al. 2005; CHEN et al. 2012; MHANGARA et al. 2012; PEROVIC et al. 2013; ZHU, 2014).

3.2 - INTEGRAÇÃO DO MODELO EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS/USLE) COM O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) PARA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO POR EROSÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG/GIS) possibilitam analisar e integrar dados espaciais diversos como os modelos digitais de elevação, climáticos, uso do solo e séries históricas, cobertura do solo, tipos de solo, dentre outros, no entanto, podem aparecer em formatos, resoluções espaciais, projeções e qualidades distintas. Os dados e geoprocessamentos espaciais inerentes ao processo de modelagem cartográfica de perda do solo por erosão, resultantes da integração entre SIG e EUPS/USLE, requerem avaliação e cuidados prévios, especialmente na resolução e precisão dos dados e fatores EUPS/USLE a fim de não incorporarem incertezas no decorrer das modelagens (ZHU, 2014).

A EUPS/USLE é um procedimento que representa como a combinação entre clima (chuvas), solos (características físicas), topografia (comprimento e inclinação das vertentes) e uso da terra (com/sem manejo conservacionista) afetam a erosão dos solos. Genericamente, os processos erosivos, se relacionam a quantidade e intensidade das chuvas e do escoamento superficial, ao uso do solo e cobertura da terra / manejo e proteção contra o impacto da chuva e escoamento superficial, as características físicas dos solos à erosão modificadas pelas formas de uso da terra, e ao comprimento inclinação e forma das encostas (BAGHERZADEH, 2012).

Desta forma, os fatores USLE determinantes da perda de solo por processos erosivos são obtidos a partir de dados de precipitação (séries históricas), análise de amostras de solo e mapeamento (erodibilidade), modelo digital de elevação (declividade e comprimento de rampa), uso da terra e cobertura do solo (classificação de imagens de satélite ou fotografias aéreas), e avaliação empírica (WISCHMEIER E SMITH, 1978; KUMAR, 2014; ZHU, 2014; GELAGAY, 2016).

A Equação Universal de Perda do Solo (Wischmeier e Smith, 1978) estima quantitativamente a erosão do solo em toneladas/hectare/ano ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) pelo produto empírico:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Onde A é a perda média anual de solo por unidade de área (toneladas.ha⁻¹.ano⁻¹); R é o fator de erosividade da chuva [MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹] se relaciona a intensidade e duração das chuvas; K é o fator de erodibilidade do solo [toneladas.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹] mensura a suscetibilidade das partículas do solo ao descolamento e transporte por escoamento superficial; LS é o fator que relaciona o efeito combinado entre declividade e comprimento da encosta (adimensional - quanto mais íngreme e mais longo o declive, maior é o risco de erosão); C é o fator de cobertura e manejo do solo (adimensional, varia de zero a um - depende dos tipos de usos do solo/cobertura da terra); e P é a prática de suporte à erosão ou fator de gerenciamento de conservação de terras (adimensional, varia de zero a um - reflete o efeito de práticas que reduzem a taxa de escoamento superficial) (WISCHMEIER E SMITH, 1978; KUMAR, 2014; ZHU, 2014; GELAGAY, 2016).

Na plataforma SIG/GIS, o produto dos fatores/mapas da USLE determinam, qualificam e espacializam a perda do solo (Biswas, 2015). O modelo USLE prevê razoavelmente taxas médias anuais de erosão em encostas e bacias hidrográficas (Wischmeier e Smith, 1978; Nearing et al. 2000; Zhu, 2014).

A integração entre USLE/SIG e modelagem de processos erosivos consiste, portanto, em tentativas de avaliar os riscos econômicos e ambientais dos processos erosivos nas bacias hidrográficas, disponibilizando informações sobre perdas de solo e produção de sedimentos com vistas a incentivar planejamentos e ações conservacionistas e de manejo que visem restaurar a produtividade das terras e minimizar este grave problema hidro-edáfico, (BAGHERZADEH, 2012).

3.2.1 - Fator de Erosividade de Precipitação (R)

O fator de erosividade da chuva (R) quantifica a partir de dados de precipitação disponíveis o efeito do impacto da chuva sobre o solo, considerando a intensidade e duração da chuva (Wischmeier e Smith, 1978; Kumar, 2014), bem como reflete a quantidade e contribuição do escoamento provavelmente associado aos eventos de precipitação (Wischmeier e Smith, 1978; GELAGAY 2016; ZHU, 2014)

Kumar (2014) produziu o mapa de precipitação a partir dos dados TRMMrainfall no formato de grade ESRI, calculados pela média das funções 'grid add' e 'grid average' da do ArcGIS 10 produzindo o mapa de precipitação média anual. Consequentemente o mapa de chuvas anuais, aplicado a equação de Singh et al. (1981) derivou o mapa do fator R:

$$R_{\text{factor}} = 79 + 0.363 R \quad (R = \text{precipitação média anual em mm}) \quad (2)$$

De outra forma, o fator R pode ser calculado pela fórmula desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), dada pela equação:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log_{10}(P_i^2/P) - 0.08188)}$$

Onde:

R é o fator de erosividade da chuva (megajoules por milímetro por hectare por hora por ano)

P_i é a precipitação mensal (milímetros)

P é precipitação anual (milímetros)

3.2.2 - Fator Erodibilidade do Solo (K)

O fator K de erodibilidade do solo é responsável por mensurar a sensibilidade e vulnerabilidade inerente das partículas do solo ao descolamento e transporte por gotas de chuva e escoamento superficial (KUMAR, 2014; ZHU, 2014).

A erodibilidade depende de propriedades mineralógicas, morfológicas, físicas e químicas dos solos. Este fator representa a quantidade de perda de solo por unidade de energia erosiva da chuva, considerando uma parcela do solo limpo e desnudo de 9% de declive e 22 m de comprimento (Biswas, 2015).

O fator K de erodibilidade do solo pode ser estimado com base em quatro parâmetros, pela equação de Wischmeier e Smith (1978), expressa pela fórmula:

$$K = (27.66 \times m^{1.14} \times 10^{-8} \times (12 - a)) + (0.0043 \times (b - 2)) + (0.0033 \times (c - 3))$$

Onde:

K medido em (toneladas por hectare por megajoules por milímetro), com base nas texturas dos solos

m é silte (%) + areia muito fina (%) \times (100– argila (%))

a é matéria orgânica (%)

b é um código de estrutura no qual (1) é muito estruturado ou particulado, (2) é razoavelmente estruturado, (3) é ligeiramente estruturado e (4) é sólido

c é um código de permeabilidade de perfil no qual (1) é rápido, (2) é moderada a rápida, (3) é moderada, (4) é moderada a lenta, (5) é lenta e (6) é muito lenta

Via de regra, solos siltosos possuem os maiores valores de K , pois se formam muito rapidamente e proporcionam altas taxas de escoamento superficial. Solos franco-calcários apresentam moderadas a altas taxas de escoamento, produção/transporte de sedimentos e valores de K , e moderada a baixa infiltração. Solos argilosos e arenosos tem baixo valor de K , os primeiros por serem resistentes ao deslocamento e os posteriores por apresentarem altas taxas de infiltração, atenuado escoamento e dificuldade de transporte de seus sedimentos (BAGHERZADEH, 2012).

3.2.3 - Fator LS topográfico

A topografia desempenha influência significativa nos processos erosivos e deslizamentos de terra (BISWAS, 2015). O fator LS constitui a combinação entre o comprimento da encosta e declividade, influenciando diretamente na velocidade do escoamento superficial (Kumar, 2014). É comum o uso de Modelos digitais de elevação (MDE) na caracterização topográfica.

Biswas (2015) para gerar o fator LS, usou o ASTER DEM (2011) (resolução de 30 m) coletado do explorador de terras USGS para produzir o mapa de declividade usando o ArcGIS (10). O fator de comprimento da encosta foi calculado a partir da equação:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m$$

Onde:

L é o fator de comprimento da encosta/inclinação metros

λ é a contribuição do comprimento do declive (m);

m é o expoente do comprimento da inclinação variável que varia com base na inclinação da encosta.

Wischmeier e Smith (1978) apresentam a equação para a criação do mapa do fator S:

$$S = (0.065 + 0.045 \times s + 0.0065 \times s^2)$$

Onde:

s é a inclinação em porcentagem

3.2.4 - Fator C Cobertura e Gerenciamento de Plantio

O fator C da USLE determina a eficiência dos sistemas de manejo do solo e culturas, usos do solo, cobertura da terra, em relação à prevenção da perda do solo por processos erosivos (KUMAR, 2014; GISWAS, 2015).

É definido como a razão entre a perda de solo das terras cultivadas sob condições especificadas e o correspondente pousio contínuo no mesmo solo e declive (Wischmeier e Smith, 1978). Os valores de C variam de 0 a 1, sendo 1 considerado uso do solo altamente vulnerável a erosões.

O fator C tem sido considerado o mais importante na determinação das perdas de solo, pois determina a eficácia relativa dos sistemas de culturas e manejo de solo e controle dos processos erosivos de um determinado local. O fator C obtido de imagens de satélite é a adequada representação das práticas de manejo e culturas no solo, além de permitirem atualização com maior frequência (KUMAR, 2014).

Zhu (2014) obteve o valor C de sua pesquisa usando dados de cobertura do solo derivados de imagens Landsat 5 TM, validações de campo, informações sobre culturas (incluindo tipos, crescimento e fases de colheita) e vegetação (terras de arbustos, pastagens, florestas) e pesquisa de campo. Por geoprocessamento (classificador de máxima verossimilhança) usado para classificar as imagens de TM, obteve-se 10 classes de uso e cobertura da terra (LULC), dentre elas, áreas residenciais e urbanas, terras secas, corpo d'água, arrozais, florestas de coníferas, florestas de folha larga, coníferas e folhas largas, florestas mistas, terra de arbustos, pastagens e terra de cascalho.

Biswas (2015) obteve o valor C para sua pesquisa de maneira semelhante a Zhu (2014) e obteve seis classes de uso e cobertura da terra, assentamentos / áreas

construídas, terra de resíduos, terras agrícolas, reservatórios, rios e vegetação. Os valores de C atribuídos às áreas antropizadas foram maiores que as áreas naturais (vegetação/floresta) de valores mais baixos, estas últimas consideradas menos suscetíveis aos processos erosivos.

3.2.5 - Fator P Prática de Apoio a Conservação

Este fator corresponde a razão entre a perda de solo com determinadas práticas de conservação do solo e a perda correspondente do cultivo em declive e subida (Wischmeier e Smith, 1978; Pandey et al. 2007; Brady e Weil 2012; Biswas, 2015). De modo geral, representa o efeito de métodos que diminuem o impacto do escoamento superficial e a perda de solo (Stone e Hilborn, 2000; KUMAR 2014). O fator P varia de 0 a 1, quanto menor o fator P, mais eficaz a prática de conservação e erosão do solo. Na ausência de práticas de conservação do solo, o fator P é equivalente a 1.

Algumas técnicas usuais associadas ao fator P são representadas pelo cultivo em curvas, lavoura de contorno, plantio em terraços, plantio direto e outros. No geral, quanto maior a inclinação do terreno, maior a intensificação das práticas de conservação do solo (ZHU, 2104).

Para a preparação do mapa do fator P, Kumar (2014) partiu da inclinação do terreno preparando o modelo digital de elevação (MDE) no Erdas e consequentemente fundindo-o com a LULLC, atribuindo os valores às classes mescladas para a preparação do mapa do fator P.

4. O PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA (PPA) COMO POLÍTICA DE GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS APLICADO À DIMINUIÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO E MANEJO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO. UMA PROPOSTA PARA AS PROPRIEDADES RURAIS DA BACIA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

4.1 Programa Produtor de Água (PPA) / Agência Nacional de Águas (ANA)

O Programa Produtor de Água é um instrumento pelo qual a União apoia a melhoria, a recuperação e a proteção de recursos hídricos em bacias hidrográficas estratégicas, tendo como base ações executadas no meio rural voltadas à redução da erosão e do assoreamento de mananciais, de forma a proporcionar o aumento da qualidade e a tornar mais regular a oferta da água, (ANA, 2012).

O Programa se efetiva por meio de articulações e parcerias entre instituições das esferas municipal, estadual, federal e privada, visando o desenvolvimento da política de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA como um instrumento de incentivo aos produtores rurais que adotarem, de forma voluntária, práticas voltadas à conservação de água e solo (ANA, 2012).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997) estabelece em seu artigo primeiro, inciso quinto, que: a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Também estabelece neste mesmo artigo, inciso sexto, que: a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Sendo assim, o Programa Produtor de Água (PPA) da Agência Nacional de Águas (ANA) tem suas bases de atuação inseridas no contexto das bacias hidrográficas e considera as propriedades rurais como partes essenciais na gestão dos recursos hídricos. Por outro lado, apresenta um modelo de gestão que requer o arranjo de entidades e instituições que apresentem competência seja na pesquisa, na extensão rural, na mensuração dos processos hidrossedimentológicos, no acompanhamento dos resultados das ações do Programa, no gerenciamento dos componentes naturais da

bacia hidrográfica, dentre outros. Nestes e em outros sentidos, o PPA se encontra em conformidade com o que preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Partindo de experiências de aproximadamente 30 anos em programas de conservação de água e solo, a Agência Nacional das Águas (ANA), assim como modernas tendências mundiais em programas agroambientais, desenvolveu um simplificado e robusto programa de gerenciamento hidrossedimentológico pautado em manejos edáficos e vegetativos aplicados às bacias hidrográficas. O Programa Produtor de Água (PPA) contempla o pagamento a proprietários rurais, incentivando financeiramente ações, em síntese, que proporcionem a redução da sedimentação na propriedade rural, gerando também benefícios hídrico-ambientais fora da propriedade (off-site) (CHAVES, 2004a).

A política do PPA admite que o setor agropecuário possua grande potencial para geração de serviços ambientais, desta forma, baseia-se em técnicas de manejo do solo e conservacionistas que garantam menor sedimentação em áreas de produção agropecuária e promovam maior infiltração das águas pluviais no subsolo e diminuição dos processos erosivos e do assoreamento.

Há geralmente um aumento da erosão do solo em áreas destinadas à agropecuária, especialmente pela conversão das vegetações naturais e consequentemente pelo aumento da exposição do solo aos impactos da chuva, especialmente em encostas mais íngremes. Grande parte dos sedimentos desprendidos pelos processos erosivos podem ser carregados até os canais fluviais via escoamento superficial. Há também o aumento das concentrações de nutrientes por causa da aplicação de fertilizantes, que adsorvidos aos sedimentos e transportados pelo escoamento superficial podem chegar aos cursos d'água (BROOKS, 2013). Este mesmo autor aponta outros fatores associados à intensidade dos impactos hidrossedimentológicos em áreas de produção agropecuária:

- Grau de conversão das vegetações naturais;
- Agricultura irrigada ou de sequeiro;
- Tipo de cobertura vegetal original e tipo de culturas a serem cultivadas;

- Culturas anuais ou perenes;
- Temporada que as culturas são cultivadas;
- Práticas de cultivo;
- Erodibilidade dos solos;

Assim, a importância das áreas destinadas à agropecuária em oferecer serviços ambientais, se dá pelo alto potencial destas áreas desencadearem processos erosivos e conseqüentemente o assoreamento dos rios e aumento da poluição difusa na bacia hidrográfica. O quadro 3 demonstra possíveis alterações hidrológicas na bacia hidrográfica, decorrentes da conversão de vegetações naturais em agropecuária.

Quadro 3 - Alterações previstas nos processos hidrológicos e respostas resultantes da conversão das vegetações naturais de bacias hidrográficas (florestais, arbustivas ou herbáceas) para plantações agrícolas. Fonte: Brooks (2013)

PROCESSOS HIDROLÓGICOS	MUDANÇAS ESPERADAS	COMENTÁRIOS
Precipitação	Sem alterações	
Interceptação	Diminui	Depende da área foliar de culturas e se culturas anuais ou perenes
Volume de precipitação	Aumenta	Devido à diminuição nas perdas de interceptação
Capacidade de Infiltração	Diminui	Depende do solo, culturas, práticas de cultivo
Transpiração	Diminui ou permanece o mesmo	Depende se culturas anuais ou perenes e das diferenças de profundidade de enraizamento
Escoamento Superficial	Aumenta	Depende do solo e das práticas cultivo; pode ser reduzida se a drenagem artificial for praticada
Recarga de águas subterrâneas	Incerto	Depende da relação entre a superfície e as águas subterrâneas
Fluxo de Base	Aumenta ou permanece o mesmo	Depende se o cultivo possui drenagem artificial e das mudanças sazonais na transpiração
Vazão Anual	Aumenta ou permanece o mesmo	Depende do percentual da redução da interceptação e transpiração

Desta forma, adotando modernos princípios de gestão de bacias hidrográficas, o PPA atua diretamente na propriedade rural e no conjunto destas na bacia. A adesão ao programa por parte dos proprietários rurais é voluntária, as técnicas de manejo são ajustáveis, a gestão é realizada em conjunto entre instituições afins, e o abatimento do percentual de erosão na propriedade é o principal parâmetro para o pagamento dos serviços ambientais (ANA, 2013).

Os princípios a respeito dos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) contemplados pelo Programa Produtor de Água (PPA) consideram principalmente o ressarcimento pelos custos atribuídos à execução das práticas conservacionistas adotadas nas propriedades rurais envolvidas no Programa, bem como uma fonte adicional de renda aos proprietários rurais. Este modelo está associado ao princípio do “provedor-recebedor”, onde o usuário do serviço ambiental paga e o conservacionista recebe, (ANA, 2013).

Este por sua vez faz alusão ao consagrado princípio do “poluidor-pagador”, fundamentado pela Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) artigo quarto, inciso sétimo, que estabelece: à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos (BRASIL, 1981).

O princípio do protetor-recebedor que se relaciona ao princípio de pagamentos por serviços ambientais encontra respaldo no Código Florestal (Lei 12.651). O artigo 41 desta lei autoriza o Poder Executivo a instituir programas de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente voltados à adoção de tecnologias e práticas que conciliem a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais. O inciso primeiro deste mesmo artigo aponta o pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais (BRASIL, 2012).

Neste sentido, esta lei também embasa o PPA em relação aos pagamentos destinados a produtores rurais, especialmente no que diz respeito à conservação das águas e dos serviços hídricos, previsto no artigo 41, inciso primeiro, alínea d.

É importante ressaltar que o PPA não visa à punição de propriedades rurais que estejam em descumprimento com a legislação ambiental. Muito pelo contrário, ele cria mecanismos de benefícios financeiros e estímulos a proprietários rurais a cumprirem obrigações ambientais legais.

Para Born & Talocchi (2002) o princípio do protetor-recebedor demonstra certa ineficiência dos instrumentos de controle das legislações ambientais. Desta forma, a fim de ampliar as possibilidades de conservação da natureza, passa-se a utilizar instrumentos econômicos como forma de incentivos que desencadeiem ações pró-ambientais, diminuindo assim a intensidade dos impactos antrópicos. Os autores ressaltam que as recompensas por serviços ambientais reiteram a importância do dinheiro sobre o arcabouço de leis ambientais, demonstrando neste caso que a economia apresenta maior eficiência que a justiça e os direitos.

4.2 Metodologia simples e robusta

Na busca de simplificar e dar eficiência e robustez aos métodos de análise e mensuração das práticas de redução da sedimentação propostas pelo PPA, Chaves (2004a) demonstra que foi utilizada a Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na simulação do percentual de abatimento da erosão das propriedades rurais envolvidas no programa. Por meio de uma simplificação desta equação, e utilizando-se apenas dois fatores da USLE (C e P), é possível calcular o percentual de perda do solo na propriedade rural antes e depois da implantação das práticas de manejo do solo.

$$A = R K L S C P \text{ (USLE)} \quad [\text{eq. 1}]$$

Sendo: **A** (ton/ha.ano) = perda de solo média anual na gleba de interesse; **R** (MJ mm/ha h) = erosividade da chuva e da enxurrada; **K** (t.ha.h/ha.MJ.mm) = erodibilidade do solo; **L** (adimensional) = fator de comprimento de rampa, **S** (adimensional) = fator de declividade da rampa, **C** (adimensional) = fator de uso e manejo do solo, e **P** (adimensional) = fator de práticas conservacionistas, (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O produto C*P da USLE, denominado Z, consiste na relação entre, o fator de manejo do solo (C) e o fator de práticas conservacionistas (P). O produto (A) na USLE corresponde à perda do solo em nível de propriedade rural. Cancelando-se os termos

comuns da USLE, admite-se que numa proposta de implementação do PPA, o quociente de A_1/A_0 (A_1 perda de solo sob manejo do PPA; A_0 perda de solo sem manejo do PPA) seja igual ao quociente de Z_1/Z_0 (Z_1 sob manejo do PPA; Z_0 sem o manejo do PPA) (CHAVES, 2004a).

$$A_1/A_0 = Z_1/Z_0 \quad [\text{eq. 2}]$$

Para o mesmo autor, a equação de Percentual de Abatimento de Erosão (P.A.E.) utilizada pelo PPA foi emulada através da substituição da equação 2 [eq. 2], na equação 1 [eq. 1], encontrando-se a equação abaixo.

$$\text{P.A.E. (\%)} = 100 (1 - Z_1/Z_0) \quad [\text{eq. 3}]$$

A vantagem desta simplificação é que, conhecendo-se apenas dois dos seis fatores originais (C e P) da USLE, é possível calcular a redução da perda de solo, relativamente à situação inicial, sem perda de generalidade ou de robustez do modelo (CHAVES, 2004a, p. 7).

A figura 3, obtida no Manual Operativo do Programa Produtor de Água, apresenta uma tabela de valores de C, P e Z para diferentes tipos de uso e manejo do solo (manejo convencional / manejo conservacionista), utilizados para o cálculo do Percentual de Abatimento de Erosão (P.A.E.) nas propriedades rurais.

Desta forma, para calcular o P.A.E. basta consultar a tabela de valores de C, P e Z e aplicá-los na equação 3. Por exemplo, calculando-se o P.A.E. (eq. 3) numa área agrícola de produção de grãos sem práticas de manejo do solo, que após a implantação do PPA adotou o plantio direto como prática de manejo conservacionista, obtém-se um P.A.E. de 96%.

Chaves (2004a) reconhece que apesar dos usos, manejos e práticas da Tabela de Valores de C, P e Z (figura 3) não cobrirem todas as possíveis situações de uso e manejo do solo do país, elas englobam aquelas mais comuns. Considera-se ainda que o PPA foi desenhado especialmente para as regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, sendo assim, a tabela se apresenta melhor representada nessas regiões.

Valores de C, P e Z, para diferentes tipos de manejo e uso do solo

Programa do Produtor de Água - Valores de $\square\square\square$ Agro-pecuária-florestal					
No.	Manejo Convencional^a	C	P	\square	Obs.
1	Grãos	0,25	1,0	0,25	Milho, soja, arroz, feijão
2	Algodão	0,62	1,0	0,62	
3	Mandioca	0,62	1,0	0,62	
4	Cana-de-açúcar	0,10	1,0	0,10	Média de 4 cortes
5	Batata	0,75	1,0	0,75	
6	Cafê	0,37	1,0	0,37	
7	Hortaliças	0,50	1,0	0,50	
8	Pastagem degrad.	0,25	1,0	0,25	
9	Capoeira degrad.	0,15	1,0	0,15	
	Man. Conservacionista^b	C	P	\square	Obs.
10	Grãos, rotação	0,20	1,0	0,20	Gramín./Leguminosa
11	Grãos, em nível	0,25	0,5	0,13	
12	Grãos, rot., em niv.	0,20	0,5	0,10	
13	Grãos, faixas veg.	0,25	0,3	0,08	Faixas c/ 20% larg.
14	Grãos, cordões veg.	0,25	0,2	0,05	
15	Grãos, terraços	0,25	0,1	0,03	Em nível, com manut.
16	Grãos, rot., terraços	0,20	0,1	0,02	
17	Grãos, pl. direto	0,12	0,1	0,01	Média de 4 anos
18	Alg./Mand., rotação	0,40	1,0	0,40	Rotação com grãos
19	Alg./Mand., nível	0,62	0,5	0,31	
20	Alg./Mand., rot., nível	0,40	0,5	0,20	
21	Alg./Mand., faixas	0,62	0,3	0,19	
22	Alg./Mand., cordões veg.	0,62	0,2	0,12	
23	Alg./Mand., terraços	0,62	0,1	0,06	
24	Alg./Mand., rot., terraços	0,40	0,1	0,04	
25	Alg./Mand., plant. direto	0,40	0,1	0,04	
26	Cana, em nível	0,10	0,5	0,05	
27	Cana, em faixas	0,10	0,3	0,03	
28	Cana, terraços	0,10	0,1	0,01	
29	Batata, em nível	0,75	0,5	0,38	
30	Batata, em faixas	0,75	0,3	0,23	
31	Batata, terraços	0,75	0,1	0,08	
32	Cafê, em nível	0,37	0,5	0,19	
33	Cafê, em faixas	0,37	0,3	0,11	
34	Hortaliças, em nível	0,50	0,5	0,25	
35	Pastagem recuperada	0,12	1,0	0,12	
36	Pastag., rotação c/ grãos	0,10	1,0	0,10	
37	Reflorestamento	0,05	1,0	0,05	
Valores de $\square\square\square$- Estradas Rurais					
	Situação	C	P	\square	Obs.
38	Estrada degradada	0,50	1,0	0,50	
40	Estrada conservada	0,50	0,2	0,10	Retaludam., baciões

Figura 3 - Tabela Valores de C, P e Z, manejos convencional e conservacionista. Fonte: ANA, 2013.

Para garantir a eficiência do Programa, bem como sua validação, são necessários métodos de avaliação e quantificação dos processos hidrológicos e erosivos, de diminuição da poluição difusa e outros, antes e após a implantação do Programa.

Os benefícios gerados pelo abatimento da erosão devem ser monitorados por meio de indicadores tais como a vazão e a turbidez da água nos cursos hídricos diretamente afetados e em períodos pré-estabelecidos, assim como deve ser avaliado o grau de engajamento dos produtores rurais na adoção das práticas e na manutenção dos trabalhos realizados em suas propriedades (ANA, 2013).

Chaves (2004a) ainda considera, que apesar de simples e robusta, a metodologia desenvolvida para o PPA requereu algumas suposições e simplificações, de forma a facilitar sua aplicação às condições brasileiras.

A primeira delas diz respeito à suposição que o percentual de abatimento da sedimentação (benefício fora da propriedade), proporcionado por um certo manejo ou prática conservacionista, equivale ao abatimento de erosão dentro da propriedade, conforme dado pela equação [3]. A segunda suposição é relativa à “universalização” dos valores de Z para diferentes regiões agrícolas brasileiras, independentemente de suas diferenças climáticas. A terceira, por sua vez, é a justificativa econômica de que o valor do pagamento incentivado (VPI) deve considerar o custo de implantação do uso, prática ou manejo conservacionista, por parte do produtor participante. A quarta e última delas foi a de que o abatimento da poluição difusa na bacia é proporcional ao abatimento da sedimentação e, conseqüentemente, do abatimento da erosão (CHAVES, 2004a).

O Programa Produtor de Água apresenta em suas estratégias conservacionistas três modalidades de ação, que permitem aos proprietários rurais a adoção de uma ou mais modalidades que melhor se adapte às condições de cada propriedade rural. A adesão destas resulta na elaboração de um Projeto individual de Propriedade (PIP) que dentre outras, indica as áreas destinadas às ações do PPA, assim como as estimativas de abatimento de erosão.

- Modalidade I – Conservação de Solo:

Destina-se às áreas de agricultura e pastagem. As técnicas aqui apresentadas referem-se ao plantio em curva de nível, construção de barraginhas, recuperação de estradas,

práticas de subsolagem, terraceamento, recuperação de pastagens, e especialmente o plantio direto.

Quadro 4 - Valores de referência de pagamento (VRP) pelos serviços ambientais referentes à conservação do solo

Índice	Nível de Abatimento de Erosão (na propriedade) e Respectivos Valores de Pagamento		
	25-50%	51-75%	>75%
P.A.E.	25-50%	51-75%	>75%
V.R.P. (R\$/ha/ano)	R\$ 50	R\$ 75	R\$ 100

P.A.E. : Percentual de Abatimento de Erosão. **V.R.P.** : Valores de Referência de Pagamento. Fonte: ANA (2013)

Os pagamentos pelos serviços ambientais (PSA) são definidos em função do Percentual de Abatimento de Erosão (P.A.E.) obtido na propriedade rural. O valor do PSA pago a cada propriedade será o resultado do total da(s) área(s) em hectares destinada(s) ao PPA multiplicado pelo V.R.P. obtido em virtude do P.A.E. Ressalta-se nesta tabela que estes valores são referentes ao ano de 2004, conforme Chaves (2004a).

- Modalidade II – Restauração ou Conservação de APP e/ou Reserva Legal:

Esta incentiva o proprietário rural a manter, recuperar, restaurar as vegetações das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), relacionadas a nascentes, cursos d'água, reservatórios, lagos e lagoas naturais.

Quadro 5 - Valores de referência de pagamento pelos serviços ambientais referentes à restauração ou conservação de APP e/ou RL

CATEGORIA	Restauração com carência de zelo	Restauração medianamente cuidada	Restauração bem cuidada
VEGETAÇÃO NATIVA PLANTADA	perdas no plantio entre 30% e 50%	perdas no plantio entre 20% e 30%	perdas no plantio < 20%
V.R.P. (R\$/ha/ano) vegetação nativa plantada			
VEGETAÇÃO NATIVA PRESERVADA	não demanda qualquer investimento, com exceção do cercamento		
V.R.P. (R\$/ha/ano) vegetação nativa preservada			

Fonte: ANA (2013)

- Modalidade III – Conservação de remanescentes de vegetação nativa (áreas extras às APP e/ou RL):

Incentiva a conservação, manutenção, e a não alteração de áreas com presença de vegetação nativa, na propriedade rural.

Quadro 6 - Valores de referência de pagamento (V.R.P em R\$/ha/ano) para incentivo à conservação de vegetação nativa (áreas extras às de APP e/ou RL, já previstas na modalidade II

Estágio de conservação do remanescente de vegetação nativa	Percentual da APP ripária a ser restaurada		
	25 a 40%	41 a 80%	> 80%
Vegetação nativa em estágio sucessional avançado médio		R\$ 160	R\$ 160
Vegetação nativa em estágio sucessional inicial	R\$ 80		

Fonte: ANA (2013)

As propriedades com déficit de APP's não se enquadrarão nesta modalidade de PSA caso não promovam a recuperação destas áreas em pelo menos 25%. Propriedades rurais que não possuam corpos hídricos poderão se enquadrar nesta modalidade (sem déficit de APP) e receber pela preservação de remanescente de vegetação nativa.

Em resumo, conforme ANA (2013), o PPA prevê as seguintes ações:

- Recuperação das APP degradadas, que na maioria incluem as matas ciliares;
- Recuperação das áreas de reserva legal;
- Proteção aos remanescentes preservados de vegetação nativa;
- Execução de obras de conservação de solo nas áreas produtivas e estradas vicinais;
- Incentivo à utilização de práticas agrícolas menos impactantes e de uso racional da água, que inclui a substituição de sistemas de irrigação convencionais por aqueles que consumam menor vazão de água;
- Pagamento aos produtores rurais participantes pelo serviço ambiental gerado;
- Monitoramento dos resultados através da análise dos recursos hídricos e da biodiversidade da região.

Por meio de edital próprio do PPA, os Projetos Individuais de Propriedade (PIP) passarão por processo de seleção, sendo avaliados pelos indicadores de redução da erosão, da poluição difusa e aumento da infiltração. Os PIPs aprovados receberão previamente o custeamento (total ou parcial) da implantação das técnicas de manejo indicadas no PIP, dependendo da eficácia do abatimento da sedimentação (ANA, 2013).

A gestão do Programa acontece pela constituição da Unidade de Gestão do Projeto (UGP), que é composta pela Agência Nacional das Águas, comitês de bacias hidrográficas, órgãos gestores estaduais, prefeituras municipais, empresas de

saneamento e energia elétrica, agentes financeiros, agências reguladoras, associações locais e regionais e produtores rurais (ANA, 2013).

Os recursos financeiros a serem disponibilizados para a execução do Programa e para o pagamento por serviços ambientais são obtidos por fontes de financiamento diversas. Os recursos advêm de fontes como o Orçamento Geral da união, estados e municípios; fundos nacionais e estaduais de meio ambiente e recursos hídricos; empresas de saneamento e energia elétrica; termos de ajustamento de conduta; comitês de bacia; financiamentos de bancos (Banco do Brasil, BNDES); organismos internacionais e outros. A Agência Nacional das Águas destaca que esses recursos podem estimular mercados em regiões sensíveis e necessitadas da proteção dos recursos hídricos.

A situação financeira e o porte da entidade financiadora que atua no PSA não são relevantes para o Programa, haja vista que o que se busca, em todos os projetos, é a sustentabilidade, ou seja, o financiador só deve investir o montante proporcional aos ganhos obtidos com as intervenções, não se tratando de transferências de cunho social, mas sim da compra de serviços ambientais que se traduzem em benefícios para os compradores (ANA, 2013).

5. CONDICIONANTES FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

5.1 - GEOLOGIA

5.1.1 - Bacia Sedimentar do Paraná

A bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia está localizada na porção norte da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta última ocupa a porção centro-leste da Plataforma Sul-americana, abrangendo os estados brasileiros das regiões Centro-Oeste, Sul, além dos estados de Minas Gerais e São Paulo, se estendendo entre Paraguai, Uruguai e Argentina. Trata-se de uma estrutura intracratônica flexural, que contém rochas do Paleozóico ao Cenozóico. A denominação desta bacia sedimentar se deve ao rio de mesmo nome que a divide quase simetricamente na altura do seu alto e médio curso (SOUSA JUNIOR et al., 1983; LACERDA FILHO; FRASCA, 2008).

Na região Centro-Oeste do Brasil, a Bacia Sedimentar do Paraná abrange a porção sul-sudoeste do estado de Goiás e se estende para o Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em Goiás incluem sequências da fase de extensão continental com a formação de *riffts*, seguida de sedimentação relacionada à subsidência termal e posterior ajuste isostático (LACERDA FILHO; FRASCA, 2008).

Esta bacia sedimentar datada do Fanerozóico tem os vestígios de seus primórdios referidos ao Siluriano. Comporta-se como uma unidade autônoma geotectônica. Seu preenchimento por quase 5.000 metros de sedimentos e lavas, associado a movimentos epirogênicos regionais, litologia, geografia, geologia, idades, magmatismo, estruturas e evolução, permite empregá-la o termo Província Paraná (ALMEIDA, FF. M et al, 1981; SOUSA JUNIOR et al, 1983).

Esta entidade tectonossedimentar de marcante expressão geográfica e litológica se apresenta como um extenso planalto alongado no sentido NNO-SSE, cujas rochas sedimentares são em quase sua totalidade horizontalizadas e raras vezes subhorizontalizadas, mostrando um leve caimento para o centro da bacia (SOUSA JUNIOR et al., 1983).

Neste contexto, ressalta-se o Planalto Setentrional da Bacia do Paraná por compreender a região das nascentes do rio Araguaia, e desta forma, nesta unidade geomorfológica se concentrará a presente abordagem geológica.

Neste Planalto destacam-se as deposições do Grupo São Bento, iniciadas no Mesozóico, constituindo as Formações Pirambóia (triássica), Botucatu (jurássica) e Serra Geral (juracretácica) (SOUSA JUNIOR et al., 1983). Apenas as duas últimas Formações são representativas na bacia hidrográfica das nascentes do Araguaia, destacando-se a massiva predominância da Formação Botucatu, como mostra a figura 5.

Conforme a coluna geológica (figura 4) elaborada por Sousa Junior et al. (1983) - RADAMBRASIL (folha SE.22 Goiânia), a Formação Pirambóia corresponde à deposição do grupo São Bento, sendo constituída por sedimentos de características fluviais, que passam de modo brusco e localmente gradacional para os típicos arenitos eólicos da Formação Botucatu. Sobrepondo estas últimas, a Formação Serra Geral ocorre em níveis topográficos elevados formando amplos planaltos, constituídos por espessas e extensas coberturas detrito-lateríticas terciárias e quaternárias. Aos limites desta unidade edafoestratigráfica foram englobadas exposições da Formação Cachoeirinha.

EVOLUÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE A ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ								
ERA	PERÍODO	PETROBRÁS NORTHFLEET <i>et alii</i> (1969)	PETROBRÁS GONÇALVES & SCHNEIDER(1970)	PETROBRÁS MÜHLMAN <i>et alii</i> (1974)	DNPM/CPRM PENA <i>et alii</i> (1975)	DNPM SCHOBENHAUS <i>et alii</i> (1975)	RADAMBRASIL FOLHA SE.22 GOIÂNIA	
Cenozóica	Quaternário-Terciário	S/denominação S/denominação	S/denominação	S/denominação Fm.Cachoeirinha	S/denominação Fm Cachoeirinha Fm Araguaia	S/denominação Fm Cachoeirinha	Aluviões Holocênicos Coberturas Detrito-Lateríticas TQ Indiferenciadas	
Mesozóica	Cretáceo	S	Fm Bauru	Fm Bauru	Fm Bauru	Gr Iporá Gr Bauru Fm Serra Geral	Gr. Bauru Fm Morilo (Fóies P. Alta e Itiquira) Fm Adamantina/ Fm Uberaba Fm Sto. Angastácio Fm Caiua	
		S.S.Bento	Fm Caiua Fm Serra Geral Fm Botucatu Fm Santa Maria	Fm Serra Geral Fm Botucatu	Gr.S.Bento Fm Caiua Fm Serra Geral Fm Botucatu	Fm. Botucatu	Gr.S.Bento Fm Serra Geral Fm Botucatu Fm Pirambóia	
	Juracretáceo	Gr.S.Bento					Gr. São Bento	
	Triássico			Fm Pirambóia (SP, GO, MT) Fm. Rosário do Sul (RS)			Grupo São Bento	
Paleozóica	Permiano	S	Gr.Passa-Dois Fm Rio do Rasto Fm Estrada Nova Fm Serra Alta Fm. Irati		Gr.Passa-Dois Fm Rio do Rasto Fm Teresina Fm S. Alta Fm Irati (SP, GO, MT)	Série Passa-Dois	Gr.Passa-Dois Fm Teresina Fm Irati	Gr.Passa-Dois Fm Corumbataí Fm Irati
		M	Gr.Tubarão Fm Palermo Fm Rio Bonito Fm Itararé	Fm Teresina Fm Irati Fm Palermo	Gr.Guata Fm Palermo Fm Rio Bonito		Gr.Tubarão Subgr. Guata Fm Palermo	Gr.Tubarão Fm Palermo
		I						Gr. Itararé Fm Aquidauana
	Carbonífero	?	Fm. Aquidauana	Fm Aquidauana	Gr. Itararé Fm C do Tenente Fm Mofra Fm Rio do Sul Fm. Aquidauana	Gr. Aquidauana	Fm Aquidauana	Supergrupo Tubarão Gr. Itararé Fm Aquidauana
	Devoniano		Fm Ponta Grossa Fm Furnas	Fm Ponta Grossa Fm Furnas	Gr. Paraná Fm Ponta Grossa Fm Furnas	Fm Ponta Grossa Fm Furnas	Gr. Paraná ou Campos Gerais Fm Ponta Grossa Fm Furnas	Gr. Paraná Fm Ponta Grossa Fm Furnas Fm. Vila Maria
	Siluriano							

Figura 4 - Coluna geológica - Bacia Sedimentar do Paraná (RADAMBRASIL Folha SE.22 Goiânia). Fonte: SOUSA JUNIOR et al., 1983.

De forma mais pontual, na bacia das nascentes do Araguaia (área de estudo) verifica-se a presença de quatro formações geológicas, divididas em função do arranjo litoestratigráfico. Uma porção, diminuta, mas marcante de Depósitos Aluvionares situa-se junto às planícies do rio Araguaia. É notória porque, ainda que nas proximidades das nascentes, já possível encontrar segmentos de planície com até 902 m de largura. Sobreposta a esta, do Grupo São Bento encontra-se a Formação Botucatu, ocupando a porção rebaixada e dissecada desta bacia hidrográfica constituindo, majoritariamente, a área de estudo. A Formação Serra Geral, também do Grupo São Bento, é bastante representativa na zona escarpada. A Formação Cachoeirinha, está associada à superfície plana de cimeira denominada Chapada ou Serra do Caiapó. A figura 5 evidencia a espacialização das formações geológicas enquanto a figura 6 corresponde à espacialização das litologias.

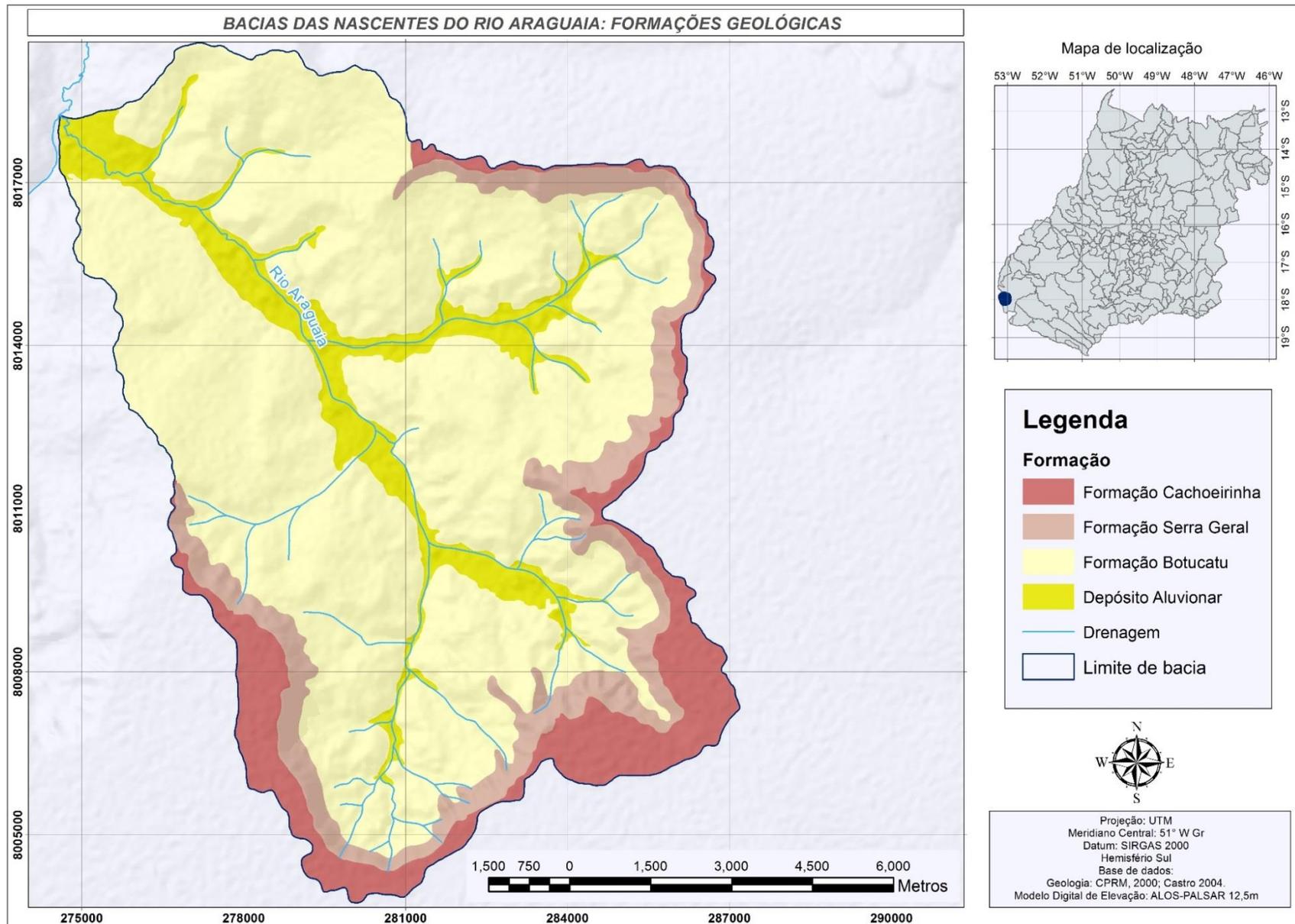


Figura 5 - Formações Geológicas: bacia nascentes Araguaia. Fonte: (SOUSA JUNIOR et al., 1983; CPRM, 2000; CASTRO, 2004).

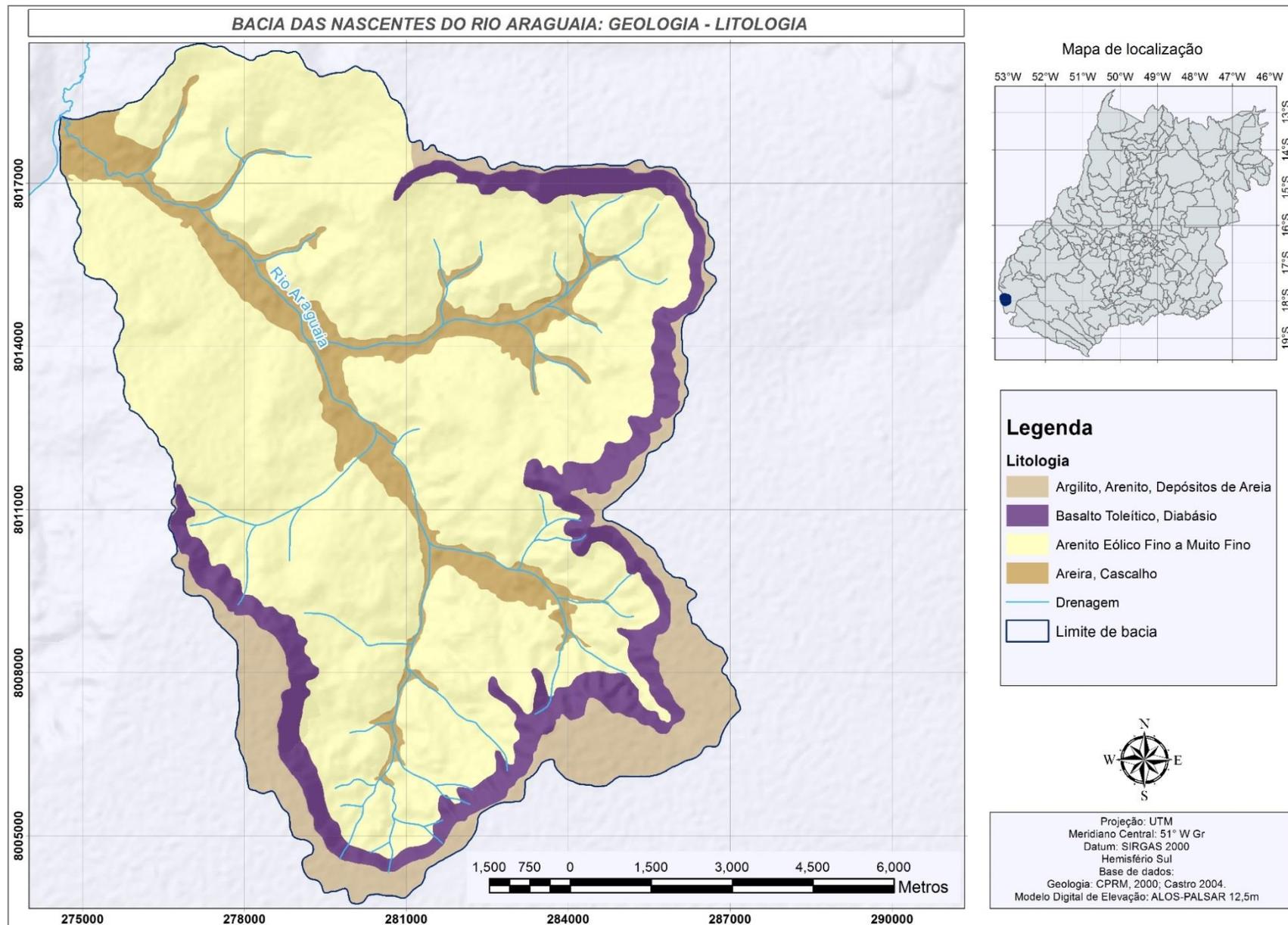


Figura 6 - Litologia: bacia nascentes Araguaia. Fonte: (SOUSA JUNIOR et al., 1983; CPRM, 2000; CASTRO, 2004).

5.1.2 - Formação Botucatu (Grupo São Bento)

Esta formação predominantemente arenítica ocorre em praticamente toda a Bacia Sedimentar do Paraná. No estado de Goiás, a parte aflorante desta formação ocorre na porção sudoeste, numa faixa de direção NW que vai de Serranópolis até Santa Rita do Araguaia, e uma pequena área a norte de Jataí (REZENDE, A. et al, 1999).

Em Goiás situa-se estratigraficamente em contato discordante sobre as rochas sedimentares do Grupo Passa Dois e da Formação Aquidauana; sotoposta aos derrames basálticos da Formação Serra Geral em contato discordante e termal; e em contato com a Formação Cachoeirinha por discordância erosiva (ARAÚJO V. A; MORETON, 2008).

A Formação Botucatu é a de maior representatividade na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia. A quase totalidade das áreas destinadas ao uso e ocupação nesta bacia entre os anos de 1984 a 2018 ocorreu sobre os arenitos eólicos desta formação, e por consequência, onde se encontram as ocorrências erosivas mais expressivas.

Esta Formação se caracteriza por arenitos predominantemente finos a muito finos, bem selecionados, eólicos, exibindo estratificações cruzadas de pequena a grande amplitude, sendo comumente silicificados, com espessura próxima a 150 metros calculada entre Mineiros (GO) e Alto Araguaia (MT). Na bacia das nascentes do Araguaia correspondem a relevos planos a suavemente ondulados, cobertos por solos arenosos, bastante espessos em virtude do seu alto grau de friabilidade, desenvolvendo-se originalmente vegetação típica do Cerrado (SOUSA JUNIOR et al., 1983; REZENDE, A. et al, 1999; RUIZ, A. et al, 2004; ARAÚJO, MORETON, 2008).

Os grãos médios arredondados, comumente são foscos e ocasionalmente apresentam “micropontuações”, enquanto dificilmente são observados grãos grosseiros nesses arenitos. No geral, são pobres em matriz. Ressaltam-se colorações que variam de esbranquiçadas, amarelo-avermelhadas, róseo-avermelhadas, até vermelho-carne, quando bem silicificados. Raramente são ortoquartzíticos ou micromicáceos (SOUSA JUNIOR et al., 1983; REZENDE, A. et al, 1999; RUIZ, A. et al, 2004).

As relações concordantes inferiores da Formação Botucatu com a Formação Pirambóia, e superiores como a Formação Serra Geral, indicam idade desta primeira, datada do Triássico superior com possível desenvolvimento até o Jurássico (SOUSA JUNIOR et al., 1983; ARAÚJO, MORETON, 2008).

Soares (1973) e Fúlfaro Gama Júnior e Soares (1980), Barros et al. (1982), aceitam que os extensos depósitos da Formação Botucatu se constituíram em clima árido e semi-árido, com sedimentação tipicamente eólica nas porções mais superiores, mostrando nas partes basais depósitos com contribuições fluviais. Observa-se da periferia para o centro da Bacia Sedimentar do Paraná diferentes processos de sedimentação que se distribuem como auréolas, zonas de depósitos aluviais, zonas de depósitos lacustres e mares de areia (subambientes). No Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, os arenitos Botucatu, marcam o fim do ciclo deposicional gonduânico.

5.1.3 - Formação Serra Geral (Grupo São Bento)

A Formação Serra Geral compõe a parte superior do Grupo São Bento, constituindo-se de uma sucessão de derrames de lavas de composição predominantemente básica, originando rochas hipabissais na forma de diques ou sills. As rochas desta Formação apresentam natureza toleítica, com aspecto maciço, uniforme, amigdaloidal, vesiculares, contendo fraturas irregulares a subconchoidais, com intercalações lenticulares e diques de arenitos (REZENDE, A. et al, 1999; SOUSA JUNIOR et al., 1983).

Conforme os mesmos autores, as rochas desta Formação possuem cores escuras a cinza-escuro, localmente vítreas, granulação fina a média, afanítica, ocasionalmente porfírica. A composição mineralógica apresenta plagioclásio, piroxênio e opacos, tendo como acessórios óxidos de ferro.

Constitui um pacote de rochas vulcânicas, formado por extenso conjunto de derrames basálticos e subordinadamente félsicos que ocorrem em grande extensão da Bacia do Paraná desde a sua borda norte no Mato Grosso e Goiás até o Rio Grande do Sul (RUIZ, A. et al, 2004).

Sousa Junior et al., (1983) admitem para Formação Serra Geral uma origem ligada a vulcanismo de fissura, de caráter básico, com condições de portar tipos diferenciados mais ácidos, sendo extrudidos em ambiente continental sob clima árido a semiárido. Os autores acreditam que esta Formação é de idade juracretácica.

As relações de contato com a Formação Botucatu na fase inicial do vulcanismo são evidenciadas pela presença de contatos térmicos e intercalações de porções arenosas na base do pacote (REZENDE, A. et al, 1999).

De acordo com os autores as rochas da Formação Serra Geral constituem, na bacia das nascentes do rio Araguaia, a porção das escarpas erosivas de declividades muito acentuadas da serra do Caiapó, onde ocorrem soleiras de diabásio atingindo, por vezes, até 100 metros de espessura.

5.1.4 - Depósitos aluvionares

Os Depósitos aluvionares, de pouca ocorrência na área de estudo, caracterizam-se pela presença de sedimentos inconsolidados, preferencialmente arenosos, associados a níveis de cascalhos e lentes de sedimentos siltíco-argiloso (REZENDE, A. et al, 1999).

Na bacia das nascentes do rio Araguaia ocorrem preferencialmente nas planícies de inundação do rio Araguaia e compreendem as acumulações de sedimentos de calha e apresentam baixo gradiente. Nas frações mais grosseiras, ocorrem minerais pesados como rutilo, ouro, zircão e diamante (REZENDE, A. et al, 1999; ARAÚJO; MORETON, 2008).

5.1.5 - Formação Cachoeirinha

Compreende sedimentos inconsolidados datados do Terciário, cobrindo vastas superfícies de aplanamento localizadas em cotas superiores a 800 m, regionalmente conhecidas como chapadões. No Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, correspondem aos relevos mais altos recobrimo indistintamente unidades

paleomesozóicas. Esta Formação e seus chapadões são encontrados na Bacia Sedimentar do Paraná, nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (REZENDE, A, 1999; RUIZ, 2004).

Constitui-se basicamente de sedimentos areno-argilosos inconsolidados, vermelhos, argilitos cinza com estratificação incipiente e arenitos mal classificados com níveis decimétricos e lenticulares de conglomerados. Estratigraficamente está assentada sobre uma superfície aplainada que corta sedimentos carboníferos, permianos, jurássicos e cretácicos (REZENDE, A, 1999; RUIZ, 2004).

Os sedimentos pós-cretáceo em foco apresentam outras denominações como Formação Superior, Unidade C., Formação Cachoeirinha e Coberturas Detrito Lateríticas Terciário-Ouaternária (TQdl), que no geral, consistem fundamentalmente num pacote constituído por latossolos maduros e uniformes, avermelhados, de textura argilosa, argilo-arenosa, contendo horizontes de concreções limoníticas (horizonte B latossólico. Para essa formação admite-se espessura máxima de 40 a 50 metros e espessura média em torno de 20 metros (SOUSA JUNIOR et al., 1983; REZENDE, A, 1999; RUIZ, 2004; LACERDA FILHO; FRASCA, 2008).

Na região da bacia das nascentes do Araguaia, encontra-se nas porções de cimeira, no relevo que forma a Serra do Caiapó e o Parque Nacional das Emas.

5.2 - CLIMA

Segundo Köppen (1948), as regiões intertropicais são marcadas pela ocorrência de elevados índices de precipitação no período correspondente ao verão e temporadas de estiagem, mais ou menos bem marcadas, ao passo que as temperaturas são muito parecidas em todo o ano. A intensidade e temporada dos períodos secos é fator decisivo para as diferentes formas de vegetação.

Na região Centro-Oeste do Brasil, onde se localiza a área de estudo desta pesquisa, o clima é do tipo *Aw*, segundo a classificação de Köppen - tropical com estação seca, também denominado clima de savanas. A letra *A* indica a zona tropical chuvosa de elevadas temperaturas e precipitação, e a letra *w* indica ocorrência de situação seca no período correspondente ao inverno. Nas áreas de clima *Aw* as chuvas são periódicas e as temperaturas elevadas (KÖPPEN, 1948; MONTEIRO, 1951).

Nesta região as temperaturas mais elevadas acontecem nas estações primavera-verão com máximas anuais que variam de 30°C a 31°C, enquanto as temperaturas médias anuais variam de 23°C a 25°C. No inverno, registram-se temperaturas mínimas anuais entre 18°C a 19°C e maior amplitude térmica em decorrência da menor umidade relativa do ar (SILVA et al. 2008).

Para Nimer (1989) o clima da região Centro-Oeste do Brasil é tropical sazonal caracterizado por dois períodos climáticos bem definidos, invernos secos e verões chuvosos. Predominam temperaturas elevadas na primavera-verão, enquanto o outono-inverno é uma estação de temperaturas amenas e frias, embora sujeito a máximas diárias elevadas.

Segundo o autor, o sistema de circulação atmosférica desta região do Brasil é formado por ventos de nordeste e leste do anticiclone subtropical semifixo do Atlântico Sul, que atuam durante o ano todo, e são responsáveis por tempo estável. A situação de estabilidade marcada por tempo ensolarado é usualmente alterada por correntes perturbadas, destacando-se as linhas de instabilidades tropicais (IT) vindas de oeste, a zona de convergência intertropical (CIT) vinda do norte, e o anticiclone polar e a frente polar (FP) do sul.

O anticiclone migratório Polar chega à região Centro-Oeste e à região do Cerrado, graças à configuração do relevo no sentido sul-norte, ao longo dos eixos dos grandes vales fluviais, proporcionando estiagem ao longo de todo o inverno e eventos de chuvas frontais na primavera-verão. Durante o inverno, o frio trazido por este anticiclone é resultante do acúmulo do ar polar. É neste período que se dá a chegada da estação seca, iniciada nos meses de abril e maio e avança até setembro e outubro, contabilizando de 5 a 6 meses de deficiência hídrica climática (SILVA et al., 2008).

O anticiclone Polar se apresenta mais enérgico no inverno. Após atravessar o oceano pacífico e transpor o segmento mais ao sul da Cordilheira dos Andes nas latitudes médias, a frente Polar (FP) chega com mais frequência à região Centro-Oeste, especificamente pelo estado de Mato Grosso com orientação SE-NW. A ação do anticiclone Polar proporciona céu limpo, pouca umidade específica e forte declínio de temperatura devido a radiação noturna (NIMER, 1989).

Durante o verão o anticiclone do Atlântico Sul alcança intensidade máxima e é responsável por transportar grande quantidade de umidade do oceano rumo ao interior do continente, no sentido leste/oeste. Porém, quando este sistema atua em conjunto com os sistemas formados no norte - Zona de Convergência Intertropical (convecções amazônicas), e sistemas de oeste - como a Alta da Bolívia, resulta numa faixa contínua de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende desde a região da Amazônia até o Atlântico Sul. A ação conjunta destes sistemas determina o regime de chuvas tanto para a região Centro-Oeste quanto para a região do Cerrado brasileiro durante a primavera-verão, entre os meses de outubro a março (SILVA, et al. 2008).

Nimer (1989) define estas regiões como o domínio de clima quente e semiúmido com 4 a 5 meses secos, onde se destaca a homogeneidade climática e a uniformidade do sistema geral de circulação atmosférica, responsável quase que exclusivamente pelo regime de chuvas. Por outro lado, as variações de latitude, assim como os relevos mais elevados garantem a heterogeneidade.

Conforme o autor, toda a região Centro-Oeste é normalmente bem regada por chuvas. Contudo, mais de 70% do volume anual de chuvas ocorrem de novembro a

março. Há no norte do Mato Grosso um núcleo mais chuvoso com médias de precipitação muito elevadas, superiores a 2.750 mm anuais. Entretanto, essas médias tendem a decrescer nos sentidos leste e sul. De modo mais específico, na região sudoeste de Goiás, área onde se encontra a região das nascentes do rio Araguaia (área de estudo desta pesquisa), a precipitação anual varia de 1.500 a 1.750 mm.

5.2.1 - Condicionantes climáticos da região das nascentes do rio Araguaia.

Para Monteiro (1951), nos chapadões do alto Araguaia que se estendem pelo sudoeste goiano (serra de Caiapó) e pelo leste de Mato Grosso, destaca-se elevado índice pluviométrico, totalizando chuvas anuais de 1.821 milímetros, indicando uma estação chuvosa muito acentuada. Nesses chapadões, destaca-se a estação climática de Alto Araguaia a 750 metros de altitude, onde se registrou características de clima do tipo mesotérmico (temperado quente) – com temperatura média do mês mais frio entre 3°C e 18°C.

Santana et al. (2007) investigaram o comportamento das chuvas para toda alta bacia do Araguaia utilizando dados pluviométricos de 28 estações climáticas da ANA/CPRM situadas entre as coordenadas geográficas 15° e 18° S e 54° e 50° W, com séries de dados acima de 20 anos.

Segundo esses autores a alta bacia do Araguaia é bem servida por chuvas. Os meses de dezembro e janeiro apresentam as maiores médias pluviométricas, acima de 250 mm. Novembro, fevereiro e março possuem médias sempre acima de 200 mm. abril e setembro podem ser considerados meses de transição em virtude do quantitativo pluviométrico que soma 95,6mm e 56,4mm, respectivamente. As médias anuais de precipitação variaram de 1.600 a 1.650 mm.

Alvares et al. (2014) elaboraram um mapa climático para o Brasil baseado em critérios da classificação de Köppen (figura 8), utilizando dados climáticos de precipitação obtidos por 2.950 estações meteorológicas, com séries temporais maior que 25 anos, entre 1950 e 1990. Os dados médios mensais de temperatura foram obtidos de 2.400 estações meteorológicas pelo mesmo período considerado.

Verificou-se no mapeamento de Alvares et al. (2014) que na região das nascentes do rio Araguaia as precipitações anuais variaram de 1.600 a 1.900 milímetros e as temperaturas médias anuais de 20 a 24°C. Observou-se ainda neste mapeamento que

a região está localizada na transição entre os climas Aw e Am, este último denominado clima tropical de monções, em virtude das estações secas serem menos intensas e a precipitação um pouco mais elevada que no clima Aw.

Dubreuil et al. (2018) estabeleceram tipos de climas anuais (TCA) no Brasil também a partir da classificação de Köppen entre os anos de 1961 a 2015, utilizando dados de 208 estações climáticas. Com base neste trabalho, observou-se predominância do clima Aw em grande parte da área central do Brasil e consequentemente na região das nascentes do Araguaia (figura 7).

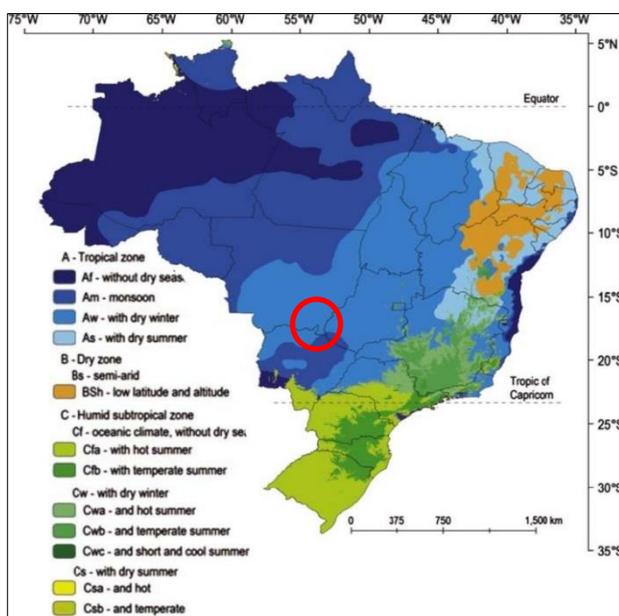


Figura 8 - Mapa Climats do Brasil - Classificação de Köppen. Alvares et al. (2014). (área de estudos circulada).

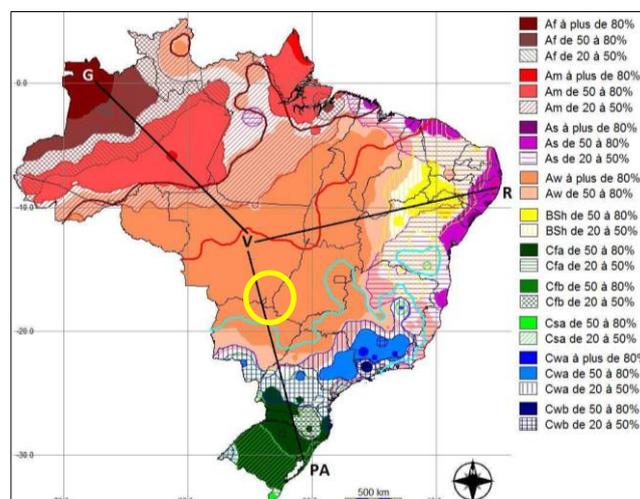


Figura 7 - Mapa Climats do Brasil - Classificação de Köppen (tipos de climats anuais (TCA) Dubreuil et al. (2018)). (área de estudos circulada).

Com base na Caracterização Climática do Estado de Goiás (GOIÁS, 2006), realizada a partir de dados de 114 estações meteorológicas distribuídas por Goiás e Distrito Federal, cuja coleta de dados se deu por intervalo de no mínimo 10 anos, tabulou-se para fins desta pesquisa uma série de dados climáticos (médias anuais de precipitação, temperatura, evaporação, umidade relativa do ar, insolação, excedente e déficit hídrico) voltados especificamente à região sudoeste deste Estado (quadro 7).

Quadro 7 - Condicionantes climáticos - Região Sudoeste do estado de Goiás. Fonte: (GOIÁS, 2006).

MESES	PRECIPITAÇÃO PLUVIAL (mm) - média mensal	TEMPERATURA MÁXIMA DO AR (°C) – média mensal	TEMPERATURA MÍNIMA DO AR (°C) – média mensal	EVAPORAÇÃO (mm) – média mensal	UMIDADE RELATIVA DO AR (%) – média mensal	INSOLAÇÃO (horas) – média mensal	EXCEDENTE HÍDRICO (mm) – média mensal	DÉFICIT HÍDRICO (mm) – média mensal
JAN	250 - 300	29 - 30	20 - 21	80 - 100	80 - 82	150 - 160	140 - 160	-
FEV	200 - 250	29 - 30	19 - 20	80 - 100	78 - 80	160 - 170	100 - 120	-
MAR	200 - 250	30 - 31	19 - 20	80 - 100	80 - 82	180 - 190	80 - 100	-
ABRIL	100 - 125	30 - 31	17 - 18	80 - 100	76 - 78	210 - 220	00 - 20	-
MAIO	50 - 60	27 - 28	14 - 15	100 - 120	70 - 72	240 - 250	-	(-20) - 00
JUN	10 - 20	28 - 29	13 - 14	120 - 140	64 - 66	250 - 260	-	(-40) - (-20)
JUL	0 - 10	28 - 29	11 - 12	160 - 180	58 - 60	260 - 270	-	(-40) - (-20)
AGO	20 - 30	29 - 30	14 - 15	200 - 220	52 - 54	240 - 250	-	(-60) - (-40)
SET	60 - 70	30 - 31	15 - 16	200 - 220	58 - 60	170 - 180	-	(-60) - (-40)
OUT	125 - 150	31 - 32	18 - 19	140 - 160	68 - 70	190 - 200	-	(-20) - 00
NOV	200 - 250	30 - 31	18 - 19	100 - 120	74 - 76	150 - 160	40 - 60	-
DEZ	250 - 300	30 - 31	19 - 20	80 - 120	80 - 82	140 - 150	120 - 140	-
MÉDIA ANUAL	1500 - 1600	29 - 30	17 - 18	1500 - 1600	70 - 72	2400 - 2450	-	-
MÉDIA PERÍODO CHUVOSO	1400 - 1500	30 - 31	19 - 20	600 - 700	76 - 78	-	-	-
MÉDIA PERÍODO SECO	150 - 175	29 - 30	16 - 17	1100 - 1200	60 - 62	-	-	-

Conforme pode ser observado, os dados climáticos apresentados no quadro 7 referentes à região sudoeste de Goiás, apresentam grande correlação às generalizações apresentadas às condições climáticas da região Centro-Oeste e do Cerrado brasileiro.

Outra espacialização e caracterização climática da região das nascentes do rio Araguaia se deu com base nos dados do TerraClimate, que consiste num conjunto de dados climáticos mensais de alta resolução espacial ($1/24^\circ$, $\sim 4\text{km}$) e balanço hídrico climático para a superfície terrestre global, entre 1958 a 2018 (ABATZOGLO et al., 2018).

Com base nesses dados elaborou-se para os anos de 1985 a 2018 (33 anos) a precipitação média da bacia das nascentes do rio Araguaia que variou de 1.556 - 1.570 milímetros, bem como a espacialização da variabilidade da precipitação em relação à média, como mostra a figura 9.

Destacam-se nesta figura, as precipitações dos anos de 1984 e 2004 que apresentaram variação de mais de 200 milímetros abaixo da média, e por esta razão foram representadas em coloração de tonalidade alaranjada.

Os demais anos apresentaram precipitações acima da média (tonalidade azulada), com destaque aos anos de 1994 e 2014 com variações acima de 200 milímetros em relação à média.

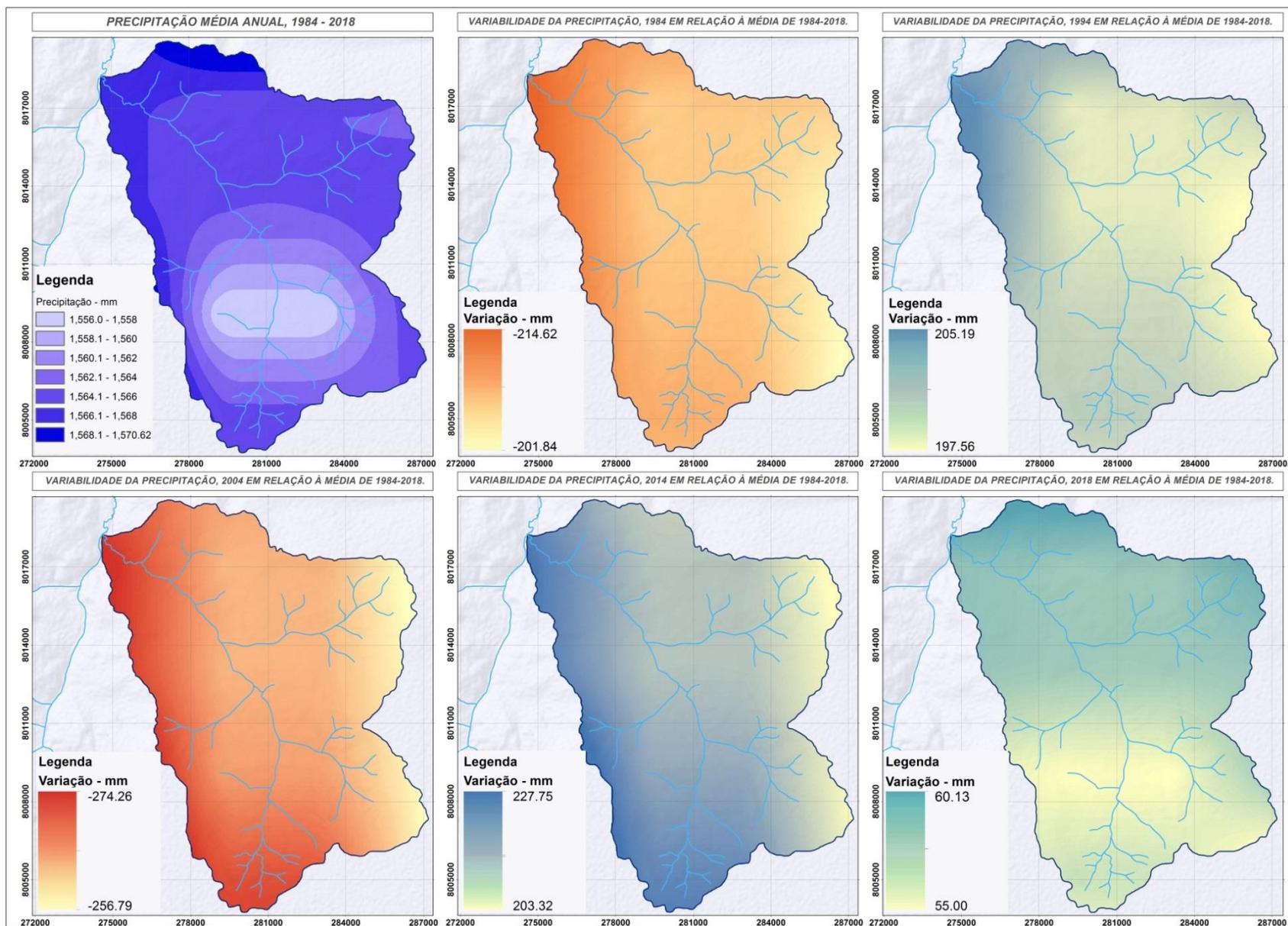


Figura 9 – precipitação e variabilidade da região das nascentes do rio Araguaia (1985). Fonte: TerraClimate (ABATZOGLO et al., 2018)

5.3 - GEOMORFOLOGIA

As terras que compõe a bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia fazem parte dos vastos planaltos e chapadas da porção setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná. Estes últimos ocupam a parte sudoeste do Estado de Goiás se estendendo para Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Trata-se de uma superfície de erosão que se reporta ao Terciário, desenvolvida em condições de extrema aridez, elaborada por processos de pediplanação (MAMEDE et al, 1983; NASCIMENTO, 1991).

Segundo os autores, este compartimento geomorfológico denominado Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, se estende por todo o reverso da cuesta do Caiapó, ocupando parcialmente o divisor de águas do Araguaia-Paraná-Paraguai. Comporta-se como uma unidade geotectônica autônoma, de idade paleomesozóica. De modo geral, compreende duas unidades de relevo, sendo uma mais elevada com altimetrias entre 650 a 1000 metros, e outra mais rebaixada com cotas de 350 a 650 metros de altitude.

Conforme Goiás (2005) os relevos de maior elevação formam uma Superfície Regional de Aplainamento que se manifesta na forma de relevos tabuliformes em estratos horizontais e sub-horizontais, gerados sobre rochas sedimentares do mesozóico e também basaltos da Formação Serra Geral.

Nestes relevos se destaca um extenso chapadão onde se localiza o Parque Nacional das Emas (GO) que se configura numa região dispersora de drenagens com destaque às nascentes dos rios Araguaia que flui para norte; do Paraná que corre para sul, e do Paraguai que vai na direção oeste (MAMEDE et al, 1983).

Na borda noroeste do referido chapadão se encontra a região das nascentes do rio Araguaia. Esta região é marcada por quatro compartimentos de relevo bem definidos, constituídos pelo topo tabular da Chapada, escarpas erosivas, uma superfície rebaixada e dissecada e a planície fluvial. Esta configuração pode ser observada por meio das figuras 10, 11, 12 bem como fotografia correspondente à figura 13.

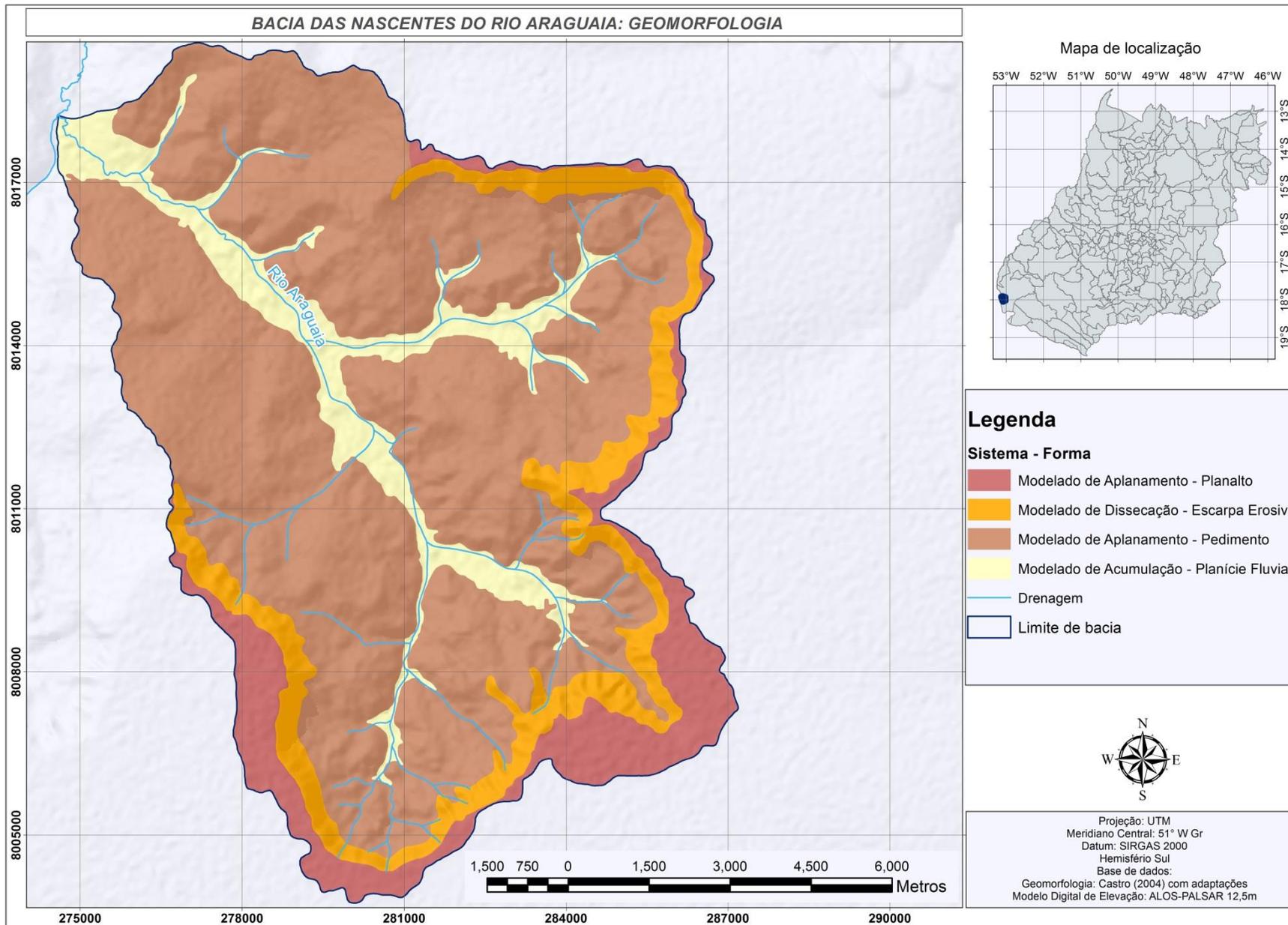


Figura 10: Geomorfologia – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.

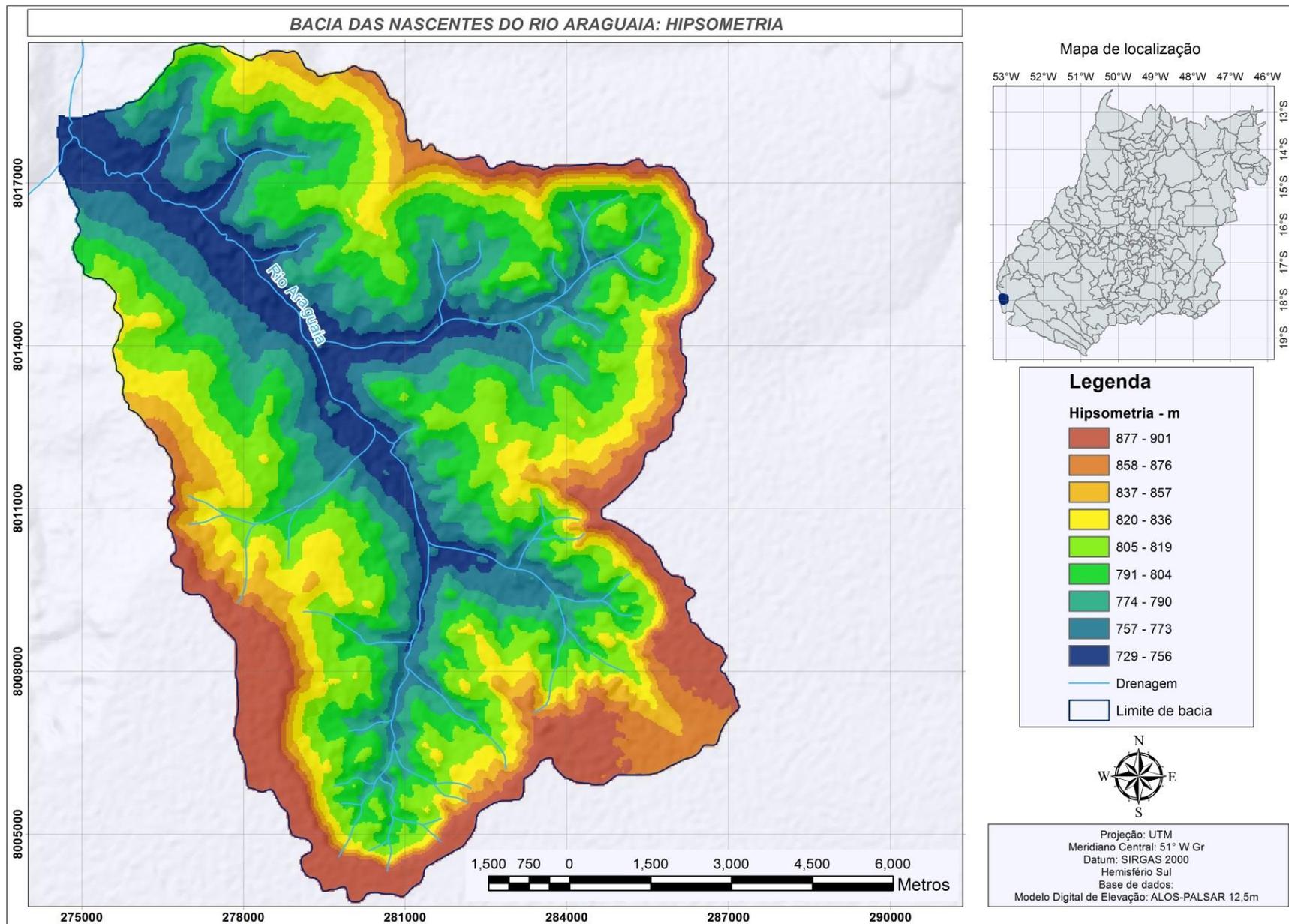


Figura 11: Hipsometria – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.

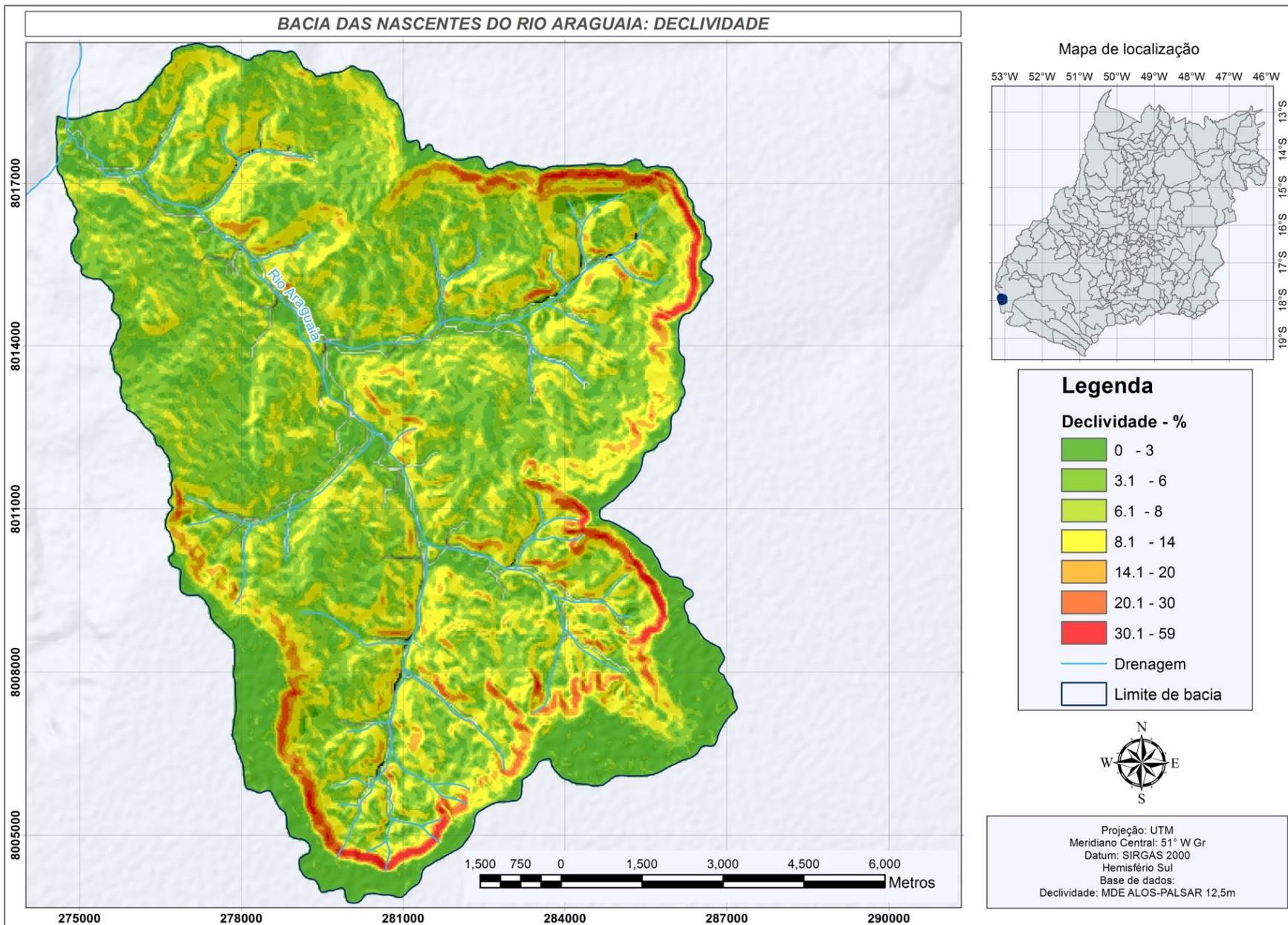


Figura 12 – Declividade – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.



Figura 13 - Vista panorâmica caracterizando o relevo da área de estudo, (i) topo tabular da Chapada, (ii) escarpas erosivas, e uma (ii) superfície rebaixada e dissecada Fonte: CELG (1999).

5.3.1 - Modelado de Aplanamento - Planalto

Nos compartimentos mais elevados configurando planaltos e com cotas altimétricas entre 858 a 901 metros (figuras 10 e 11), destaca-se uma extensa superfície de aplanamento conservada, pouco dissecada, que se configura como um vasto chapadão. Trata-se de uma superfície pediplanada coberta por Latossolos Vermelhos profundos e bem drenados, que perfazem a Serra do Caiapó e localmente a Serra do Morro Vermelho (MAMEDE et al., 1983; CASTRO; XAVIER, 2004).

5.3.2 - Modelado de Dissecação - Escarpa Erosiva

O segundo compartimento é representado por uma zona escarpada de desnível altimétrico abrupto que separa a superfície tabular de cimeira das zonas rebaixadas e dissecadas. Perfaz uma zona com declives entre 20 e 59% (figuras 10 e 12), em contínuo recuo erosivo das bordas das chapadas, sendo localmente referidas como serras. No sopé das escarpas são frequentemente encontrados depósitos de tálus com fragmentos de lateritas provenientes do desgaste das escarpas (GOIÁS, 2005; CASTRO; XAVIER, 2004).

Essas faixas de escarpa erosiva são também identificadas como Zonas de Erosão Recuante (ZER), que frequentemente transicionam para a Superfície Regional de Aplanamento identificada com pedimento. Correspondem às frentes/escapamentos de chapadões, inclusive com presença de taludes de detritos (GOIÁS, 2006).

5.3.3 - Modelado de Aplanamento - Pedimento

O terceiro compartimento geomorfológico corresponde a uma superfície rebaixada e dissecada, com altitudes que variam de 729 a 836 metros (figuras 10 e 11), esculpida em arenitos Botucatu que formam espessos solos arenosos, onde predominam baixas declividades que dificilmente ultrapassam os 14% (figuras 10 e 12), com ocorrência predominante dos arenitos Botucatu.

A área da bacia das nascentes do Araguaia ocupa majoritariamente este terceiro compartimento, coberto por solos de textura arenosa, e marcado por feições convexas, amplas e aguçadas, com interflúvios de 750 a 3.750 metros de comprimento. Nestes patamares é comum a ocorrência de processos erosivos lineares (sulcos e ravinas). Apesar da friabilidade dos solos, destaca-se o encaixamento do rio Araguaia que forma um *percée* na frente de cuesta (MAMEDE et al., 1983).

Segundo os autores o tipo de modelado de dissecção é particularmente importante tanto à conservação dos solos como das águas. Unidades geomorfológicas demasiadamente dissecadas, são mais propensas aos efeitos de abundante escoamento superficial das águas pluviais, sobretudo, em áreas de baixa densidade de cobertura vegetal.

Conforme o mapa de avaliação do relevo RADAMBRASIL (Folha SE 22 Goiânia), esses terrenos em virtude de sua grande porosidade, absorvem boa parcela do volume das águas pluviais, favorecendo a manutenção de parte dos depósitos superficiais no local. No entanto, a remoção da cobertura vegetal de Savana pode favorecer ao escoamento superficial concentrado, conduzindo desde a processos de ravinamentos - que evoluem para grandes voçorocas -, à movimentos de grandes volumes de massa, resultando em feições de grandes dimensões.

5.3.4 - Modelado de Acumulação - Planície Fluvial

Já o quarto compartimento corresponde à planície fluvial que, mesmo ainda na região conhecida como área das nascentes do rio Araguaia, já apresenta considerável expressão espacial. Isso se deve ao fato de que a região em questão apresenta caimento topográfico e litológico na direção Sul, ao passo que o rio Araguaia drena

para a direção norte. Esse contraste permite a conformação de um segmento de canal com baixo gradiente altimétrico e conseqüentemente, baixo potencial de transporte. Tal configuração associada aos arenitos eólicos da Formação Botucatu, de fácil desagregação e transporte, resulta na formação de uma larga planície fluvial com aspecto coalescente e brejoso.

5.4 - PEDOLOGIA

Na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia, os tipos de solos se distribuem em conformidade com os compartimentos de relevo. Nas porções altiplanas da bacia se encontra o Latossolo Vermelho. Nas áreas de escarpas erosivas predomina o Neossolo Litólico Distrófico intercalado ao Cambissolo Háptico Distrófico. Nas porções rebaixadas e dissecadas ocorrem Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico Distrófico. Já nas áreas de planície o predomínio é de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico. Tal disposição configura um sistema pedológico em profunda relação com os terços superior, médio e inferior das vertentes (figura 14).

5.4.1 - Latossolo Vermelho Distrófico

Estes solos foram verificados na chapada de relevo residual, topograficamente elevada, de superfície tabular, plano e suave ondulado, se encerrando nas bordas e início das escarpas, ocupando superfície terciária, que correspondem a áreas de nível de recarga local (NOVAES, et al. 1983).

São solos com matiz 2,5YR ou mais avermelhados na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Consistem em solos profundos a muito profundos, com a espessura do solum raramente inferior a 1 metro (EMPRAPA, 2018).

Apresenta seqüência de horizontes A, B, C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais. O aumento de argila do A para o B é praticamente nulo, enquanto os teores da fração argila no solum aumentam

gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil (EMPRAPA, 2018).

Trata-se de solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico. São bem drenados e acentuadamente drenados, refletindo baixa suscetibilidade a erosão, friáveis, bastante porosos, grau de floculação elevado, baixa relação silte/argila, alto grau de intemperização, e muito baixa soma e saturação de bases. São em geral fortemente ácidos, distróficos ou alumínicos (NOVAES, et al. 1983).

A pouca variação textural em profundidade, a coloração vermelho-escuro, e relevos aplanados são as principais características diagnosticadas em campo. A vegetação original relacionada a estes solos é do tipo Savana, raramente ocorrendo florestas (NOVAES, et al. 1983).

Conforme a Embrapa (2018) o uso agrícola nestes solos requer técnicas para a correção da fertilidade. Ao longo do período analisado pelo presente estudo (1985 - 2018) observou-se que os Latossolos Vermelhos da bacia das nascentes do Araguaia estiveram permanentemente submetidos às atividades agrícolas.

5.4.2 - Cambissolo Háptico Distrófico

Ocorrem sobre basaltos da Formação Serra Geral, imediatamente acima das porções escarpadas da bacia, em áreas de acentuada declividade e, por vezes, intercalados aos Neossolos Litólicos. Apresentam pequena expressão na área.

São solos argilosos, na maioria das vezes livres de cascalhos, pedregosos e de ocorrência mais comum em relevo ondulado e forte ondulado, com ocorrência original de vegetação de Floresta, possuindo, em geral, fertilidade natural baixa. Apresentam sérias limitações quanto ao uso e ocupação, principalmente por impedimentos físicos e relevo de declives muito acentuados (NOVAES et al., 1983).

Conforme estes autores são solos minerais, não hidromórficos, bem drenados, pouco profundos a profundos e caracterizados por apresentarem um horizonte B incipiente (Bi) ou câmbico. Possuem sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R, com o horizonte A do tipo moderado.

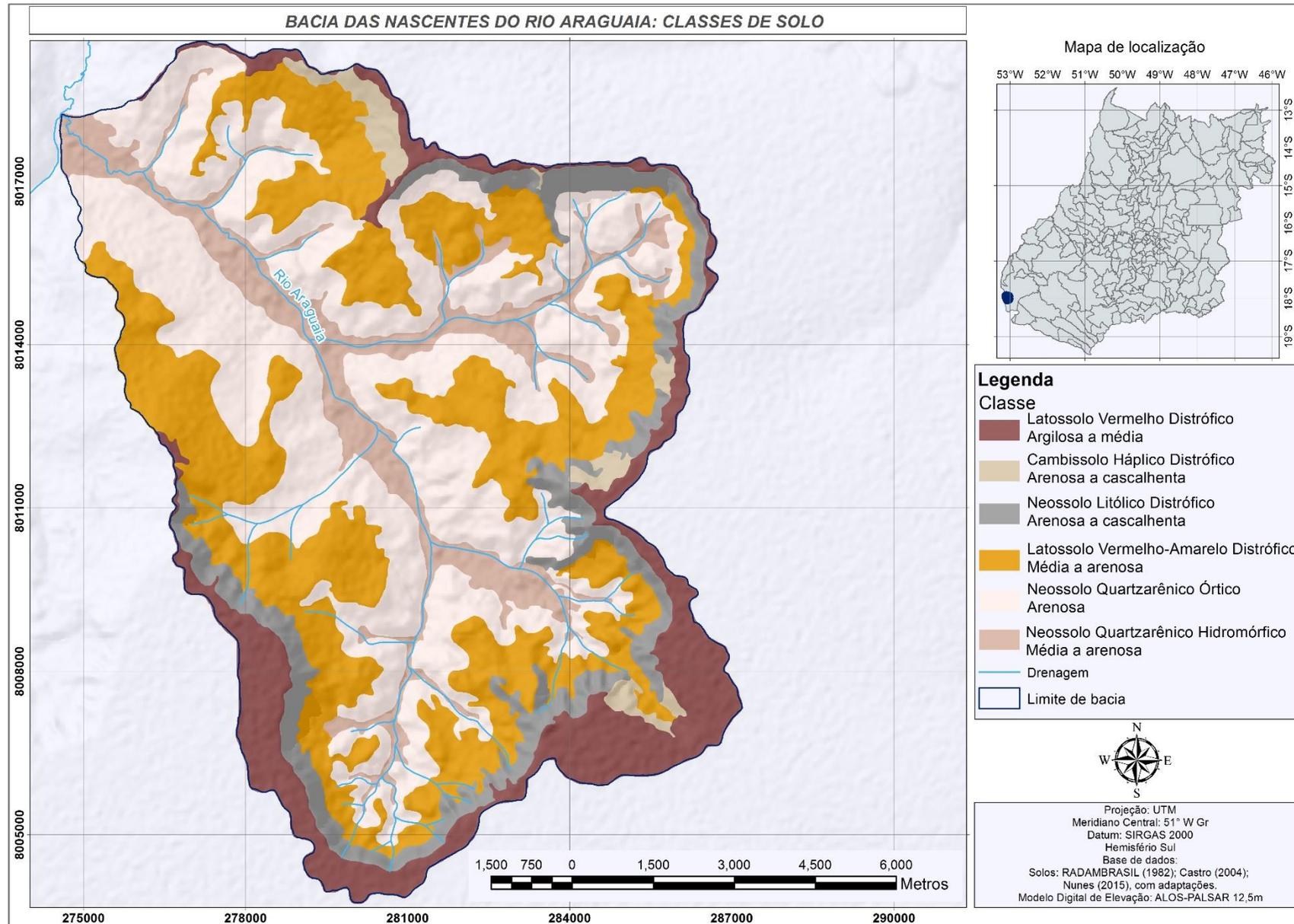


Figura 14: Pedologia – bacia hidrográfica nascentes do rio Araguaia.

O horizonte Bi tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o solum geralmente apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do A para o Bi. Este horizonte apresenta elevado grau de floculação e estrutura semelhante à dos latossolos. Seu baixo grau de desenvolvimento fica evidenciado pela ocorrência de minerais facilmente intemperizáveis e fragmentos da rocha-matriz (NOVAES et al., 1983; EMPRAPA, 2018).

5.4.3 - Neossolos Litólicos Distrófico

São solos minerais, rasos e muito pouco desenvolvidos, que apresentam sequência de horizontes A, R e A, C, R. Sua espessura predominante é em torno de 20 cm, e textura variando de arenosa a argilosa com ou sem frações grosseiras (cascalhos, calhaus e matacões). Na bacia das nascentes do rio Araguaia ocorrem nas bordas da chapada em relevo escarpado (NOVAES et al., 1983).

Segundo esses autores esses solos se originam de basaltos da Formação Serra Geral, são distróficos e tendem a classe de textura argilosa. São diagnosticados, pela alta soma de bases, capacidade de troca de cátions elevada, alta saturação com bases e baixa saturação com alumínio. Em virtude da forma de relevo, profundidade dos solos, impedimento físico e da suscetibilidade a erosão, torna-se inviável a sua exploração agrícola, sendo mais propícia a formação de reservas naturais.

5.4.4 - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Ocorre na porção rebaixada e dissecada da bacia das nascentes do Araguaia, sobre substratos arenosos da Formação Botucatu, em declividades que raramente ultrapassam 14%. São solos de cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas, com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMPRAPA, 2018).

São minerais, não hidromórficos, caracterizados por apresentarem horizonte B latossólico, precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura (NOVAES, et al. 1983; EMPRAPA, 2018).

Segundo Novaes et al. (1983) existem semelhanças com Latossolos Vermelho quanto às propriedades físicas, químicas, morfológicas e de uso do solo. Diferem, entretanto quanto à cor, predominantemente de coloração vermelho-amarelo nos matizes 7.5YR e 5YR, e nos teores mais baixos de óxido férrico (Fe_2O_3) (NOVAES et al., 1983).

Em virtude de a porção rebaixada e dissecada da bacia corresponder à principal área da bacia destinada ao uso antrópico, a quase totalidade dos Latossolos Vermelho-Amarelo apresentou-se no período correspondente a este estudo (1985 – 2018) permanentemente ocupada por atividades antrópicas.

5.4.5 - Neossolos Quartzarênicos Órtico

Os Neossolos Quartzarênicos perfazem a classe de solos com maior abrangência na área da bacia das nascentes do Araguaia. Encontram-se na porção rebaixada e dissecada, sobre substratos arenosos da Formação Botucatu. Ocorrem associados aos Latossolos Vermelho-Amarelo, em relevos planos ou suavemente ondulados, em extensas vertentes, onde as declividades não ultrapassam 14%. Durante o período analisado por este estudo (1985 - 2018) observou-se massiva ocupação agropecuária sobre estes solos.

São solos minerais, não hidromórficos de textura arenosa ou franco-arenosa, constituídos essencialmente de quartzo, distróficos, álicos, muito profundos, pouco desenvolvidos, excessivamente drenados, formados por material arenoso isentos de minerais facilmente intemperáveis (NOVAES et al., 1983; EMPRAPA, 2018).

Apresentam camadas de areias inconsolidados, cuja estrutura é fraca, pouco coerente e constituída basicamente de grãos simples de areia solta. São muito porosos. Quimicamente apresentam baixa disponibilidade em nutrientes para as plantas (EMBRAPA, 2009).

Apresentam sequência de horizontes A, AC e C, com pequena variação das características morfológicas e variação de cor. O horizonte superficial do tipo moderado exhibe maior teor de matéria orgânica em relação aos outros. Há aumento moderado e gradativo na percentagem de argila com a profundidade do perfil. Predominam as cores

bruno-avermelhado-escuras e bruno-avermelhado no horizonte A, vermelho-escura e vermelho-amarelada no C (NOVAES, et al. 1983; EMPRAPA, 2018).

Variam de fortemente a moderadamente ácidos, alta lixiviação, baixa retenção de umidade, excessivamente drenados e granulometria com teores de areia em torno de 90%. Encontravam-se originalmente, cobertos por formação vegetal de Savana (NOVAES, et al. 1983).

5.4.6 - Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos

Os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos encontram-se distribuídos junto à planície fluvial e fundos de vale, perfazendo uma faixa lateral em torno dos cursos d'água, e por isso, correspondem em grande parte em Áreas de Proteção Permanente (APP). Ocorrem associados aos Neossolos Quartzarênicos.

São solos hidromórficos minerais, pouco desenvolvidos, imperfeitamente ou mal drenados, areno-quartzosos (mais de 95% de quartzo). Apresentam perfis A e C, com horizonte superficial mais frequente do tipo moderado, e englobam as classes texturais areia e areia franca. São originados de Depósitos Aluvionares Holocênicos, ocorrendo na sua grande maioria na planície aluvial do rio Araguaia e afluentes (NOVAES et al., 1983).

Conforme estes autores, não possuem estrutura, são constituídos de grãos simples e a consistência quando molhado é não plástico e não pegajoso. Diferem dos Neossolos Quartzarênicos (álícos e distróficos) aqui citados, por ter o lençol freático próximo à superfície durante algum período do ano ou presença de hidromorfismo ao longo do perfil.

Possuem limitações quanto à utilização agrícola, devido à baixa capacidade de retenção de nutrientes, textura arenosa, baixa fertilidade natural, toxidez com alumínio trocável e ocorrência em áreas saturadas de água e sujeitas a inundações, o que dificulta o manejo e mecanização (NOVAES et al., 1983; EMPRAPA, 2018).

Em relação ao uso do solo nestes solos, observou-se ao longo do período analisado (1985 – 2018) pela presente pesquisa, que estes foram amplamente destinados à conservação das vegetações ripárias.

5.5 - VEGETAÇÃO (fitofisionomias do cerrado)

5.5.1 Formação Campestre

5.5.1.1 - Campo Úmido

Trata-se de uma das fitofisionomias que compõe as formações campestres nativas do Cerrado. Estas, no geral, se caracterizam pela predominância de uma flora herbáceo-subarbustiva (usualmente destituída de comunidades vegetais arbóreo-arbustivas). São constituídas por espécies perenes, heliófilas, pouco tolerantes ao sombreamento. Distinguem-se quanto à topografia, composição florística e muitos endemismos, dentre outras. As formações campestres não estão adaptadas às condições microclimáticas das formações arbustivas arbóreas do Cerrado (COUTINHO, 1978; RIBEIRO; WALTER, 1998).

Campos gramíneos úmidos naturais são encontrados nas encostas de vales, em posição intermediária entre a flora do cerrado sentido restrito e à fitofisionomia mata de galeria ou mata ciliar. Nos Campos Úmidos, o lençol freático permanece perto da superfície durante parte do ano, ou a água pode aflorar na parte inferior da encosta e correr em película sobre a superfície (EITEN, 1977).

Na bacia das nascentes do rio Araguaia, os Campos Úmidos correspondem à extensa vegetação campestre instalada junto à planície deste rio e seus afluentes circundando as bordas das Matas de galeria, em áreas saturadas ou mal drenadas e lençol freático alto. Ocorrem associados aos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos.

Também se denominam de "Campo de Várzea", "Várzea" ou "Brejo" e apresentam fisionomia predominantemente herbácea podendo ou não apresentar arbustos e subarbustos, estes últimos com cobertura máxima de 5% (RIBEIRO; WALTER, 1998).

A figura 15 ilustra os campos úmidos associados a outras formas campestres do Cerrado representados em perfil.

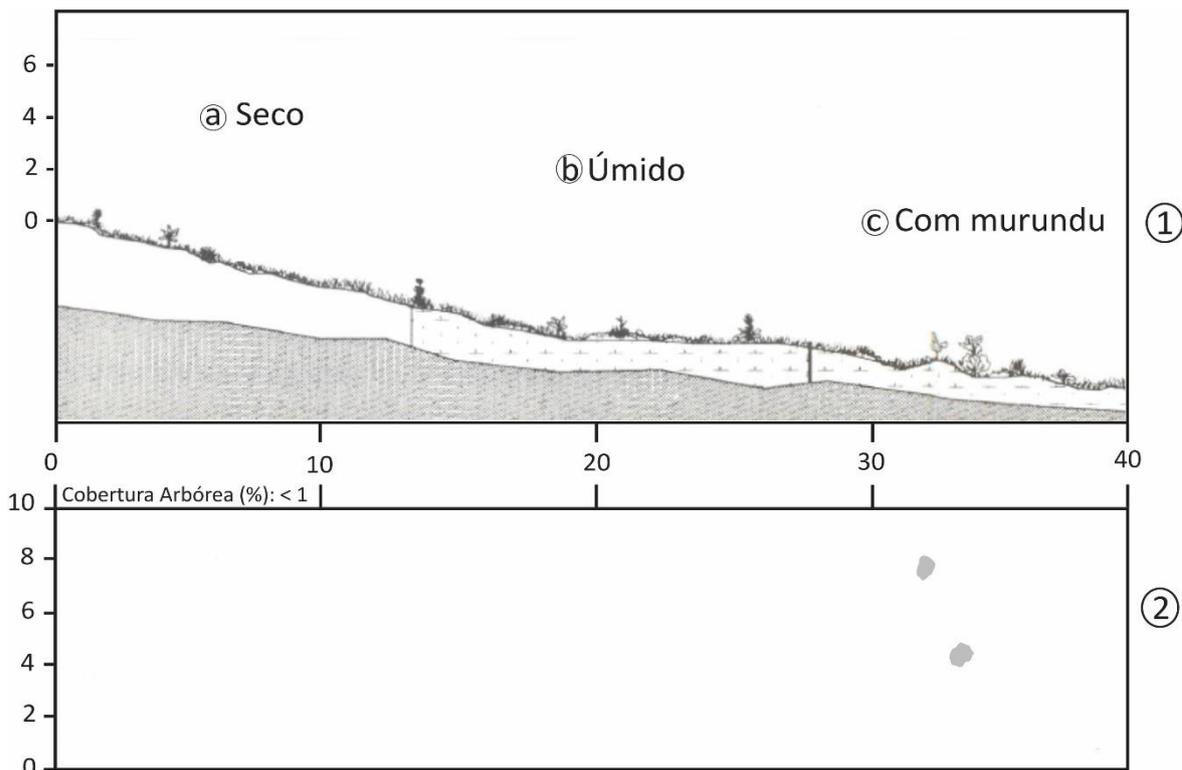


Figura 15 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Campo Úmido. Formações campestres representado em uma faixa de 40 metros de comprimento e 10 metros de largura. Porção (a) campo seco, (b) campo úmido e (c) campo mal drenado com murundus (microrelevos elevados). Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).

5.5.2 - Formação Savânica

A fitofisionomia Cerrado sentido restrito refere-se à vegetação tipicamente savânica, formada por árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. As árvores tendem a ser baixas, tortuosas, inclinadas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. Os troncos das plantas lenhosas em geral possuem cascas com cortiça grossa, fendida ou sulcada, e as gemas apicais de muitas espécies são protegidas por densa pilosidade. As folhas em geral são rígidas e coriáceas (RIBEIRO; WALTER, 1998; 2008).

Conforme os referidos autores, essa formação ocorre preferencialmente em solos com carência generalizada dos nutrientes essenciais, principalmente fósforo e nitrogênio, e altas taxas de alumínio.

Na bacia das nascentes do rio Araguaia são encontradas três formas desta fitofisionomia: Cerrado Denso, Cerrado Típico e Cerrado Ralo. Parte dessas diferenças

pode ser explicada pela profundidade e umidade do solo. Normalmente, a densidade e a altura da vegetação lenhosa aumentam proporcionalmente a esses fatores (HENRIQUES, 2006).

Ocorrem associados à Formação Botucatu, onde predominam Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos (álícos e distróficos). Estes últimos tem aumentada sua susceptibilidade à erosão em decorrência da supressão desta vegetação.

5.5.2.1 - Cerrado denso

Corresponde à vegetação savânica predominantemente arbórea, com cobertura de 50% a 70% e altura média de cinco a oito metros, como ilustrado na figura 16. É a forma mais densa e alta de Cerrado sentido restrito, e como consequência o estrato herbáceo é mais ralo (RIBEIRO; WALTER, 1998, 2008). Na bacia das nascentes do Araguaia ocorre em grandes manchas ao longo das médias vertentes associado ao Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico.

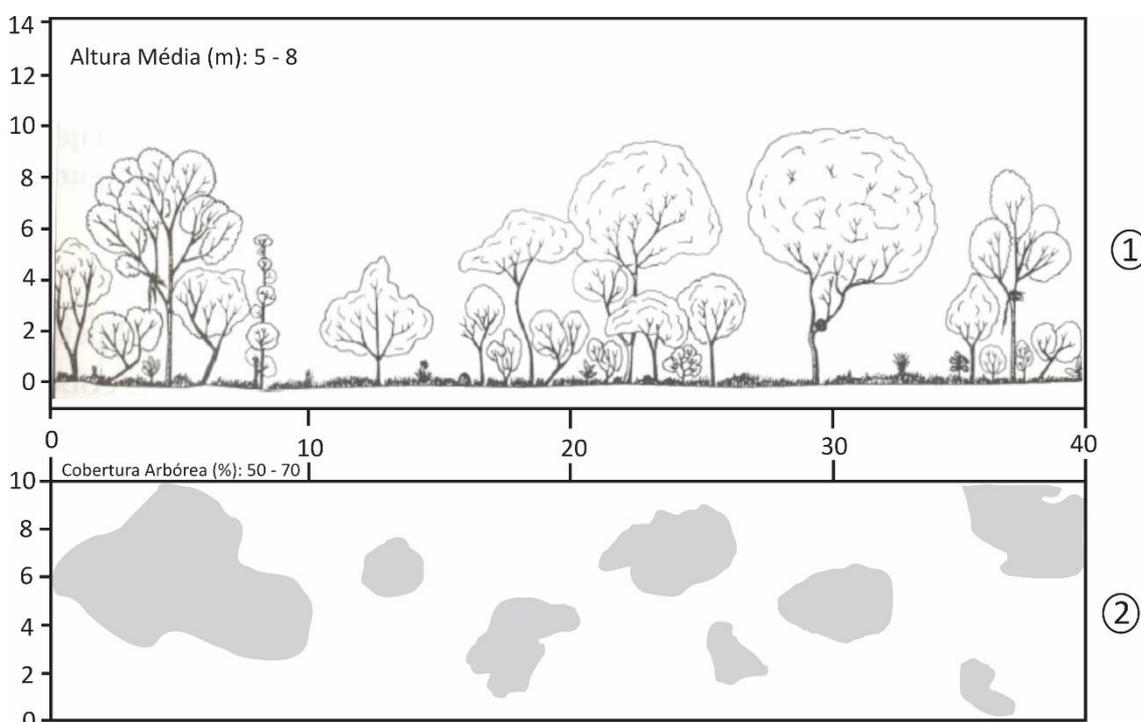


Figura 16 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerrado Denso. Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).

5.5.2.2 - Cerrado típico

Vegetação predominantemente arbóreo-arbustivo, com cobertura arbórea de 20% a 50% e altura média de três a seis metros. Trata-se de uma forma intermediária entre o

Cerrado Denso e o Cerrado Ralo, conforme ilustra a figura 17 (RIBEIRO; WALTER, 1998, 2008).

Na bacia das nascentes do Araguaia, o Cerrado Típico ocorre associado ao Cerrado Denso, sobre Neossolo Quartzarênico (állico e distrófico), em relevos dissecados. Em média ocupam 5,65% da área desta bacia.

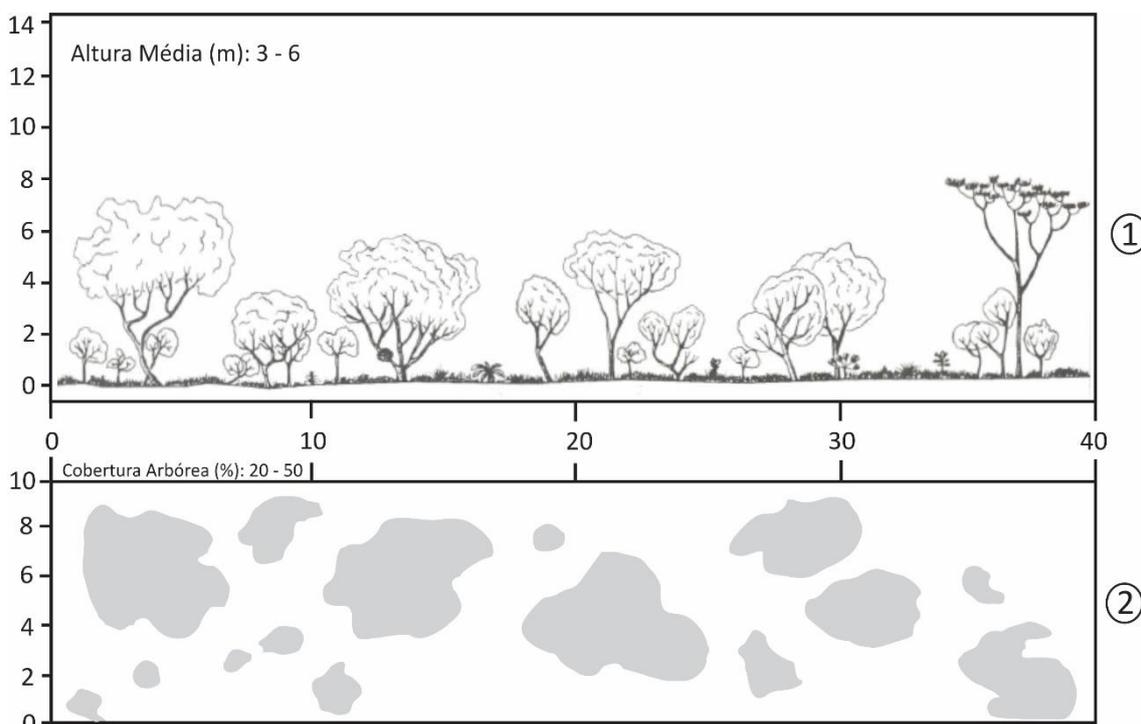


Figura 17- Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerrado Típico. Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).

5.5.2.3 - Cerrado ralo

O Cerrado Ralo é um subtipo de vegetação savânica arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 5% a 20% e altura média de dois a três metros, como mostra a figura 18. Representa a forma mais baixa e menos densa de Cerrado sentido restrito. Destaca-se o estrato arbustivo-herbáceo em relação aos tipos anteriores (RIBEIRO; WALTER, 1998, 2008). Ocorre na bacia das nascentes do Araguaia associados aos Neossolos Litólicos, nas áreas de escarpas erosivas.

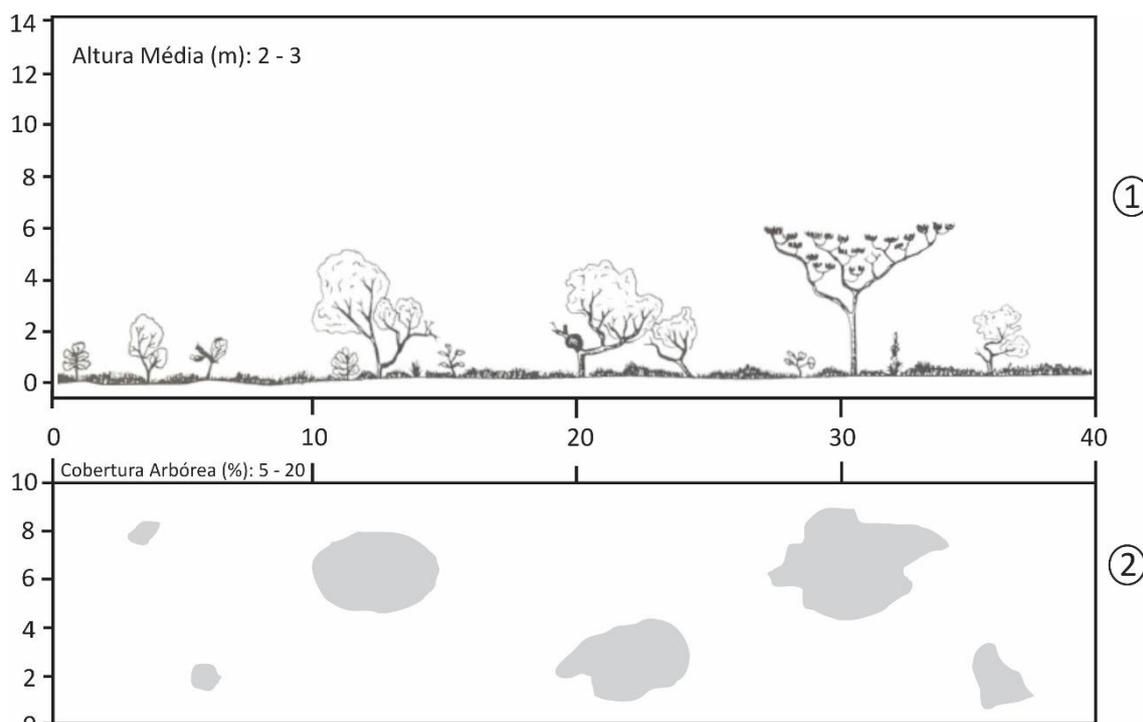


Figura 18 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerrado Ralo. Representa uma faixa de 40 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).

5.5.3 - Formação florestal

Compreendem tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas e formação de dossel. Na bacia das nascentes do rio Araguaia encontram-se os tipos florestais: Mata de Galeria e Cerradão. Os primeiros são associados aos cursos d'água, que podem ocorrer em terrenos bem drenados ou mal drenados. O Cerradão pode ser classificado como Mesotrófico ou Distrófico (RIBEIRO; WALTER, 1998, 2008).

5.5.3.1 - Mata galeria

Consiste na vegetação florestal que acompanha os rios dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso d'água. A altura média do estrato arbóreo varia entre 20 e 30 metros, apresentando uma superposição das copas que fornecem cobertura arbórea de 70 a 95%, como ilustra a figura 19 (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Ribeiro e Walter (2001) explicam que a boa fertilidade dos solos nas Matas de Galeria se deve principalmente à posição topográfica, isto é, tende a aumentar do topo

dos interflúvios aos fundos de vale, graças ao carreamento de solo e matéria orgânica das vegetações adjacentes.

Na bacia das nascentes do rio Araguaia localiza-se nas cabeceiras de drenagem e fundos dos vales. Apresenta-se circundada por faixas de vegetação campestre (campo úmido), Cerrado Denso e Cerradão. A transição é brusca com as formações campestres e savânicas, e quase imperceptível com os Cerradões. Essa fisionomia é perenifólia, inclusive durante a estação seca.

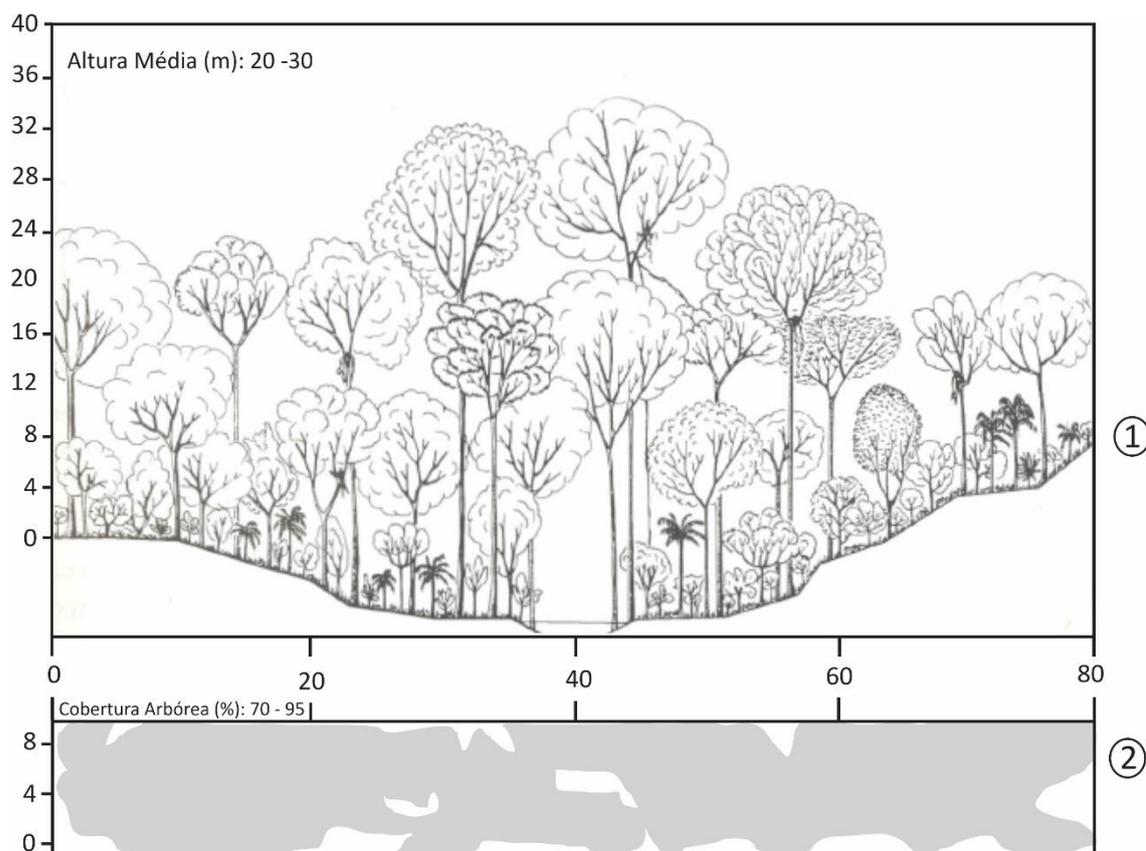


Figura 19 - Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Mata de Galeria. Representa uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).

Esta formação florestal desempenha funções ecológicas e hidrológicas no ambiente. Desempenham proteção e estabilização das margens dos rios, favorecem qualidade e quantidade da água dos rios e funcionam como barreiras ao assoreamento (FELFILI, 2000).

5.5.3.2 - Cerradão

Trata-se de uma floresta com ocorrência de espécies do Cerrado sentido restrito e também por espécies de mata que apresentam aspectos xeromórficos, onde a flora herbáceo-subarbusciva é bem pouco representativa. Do ponto de vista fisionômico é uma

floresta, mas do ponto de vista florístico é mais similar a um Cerrado. Apresenta dossel contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50 a 90%, enquanto a altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros (figura 20) (COUTINHO, 1978; RIBEIRO; WALTER, 1998).

O ótimo ecológico para ocorrência dos Cerradões possui como características, solos profundos, pouco mais férteis, com menor índice de toxidez, ausência de couças lateríticas superficiais e contínuas, menor exposição à eluviação, queimadas menos frequentes e menor ação antropogênica (COUTINHO, 1978).

Na bacia das nascentes do Araguaia, ocorre sobre Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos (álícos e distróficos), e por essa razão pode ser classificado como Cerradão Distrófico.

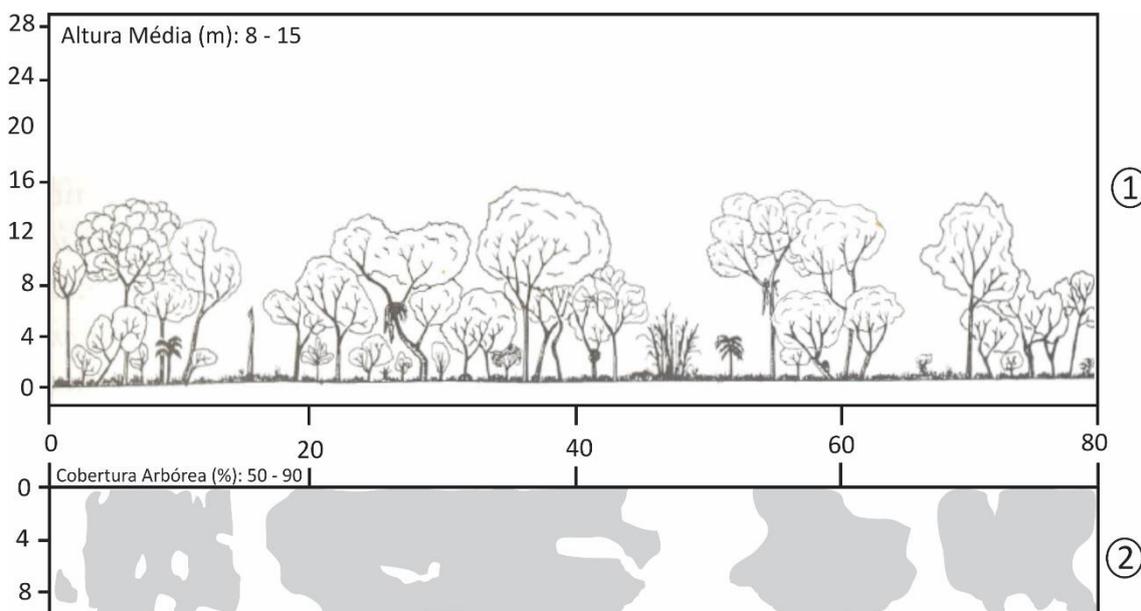


Figura 20- Diagrama Perfil (1) e Cobertura arbórea (2) – Cerradão. Representa uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: RIBEIRO e WALTER (1998).

6. MÉTODO - ABORDAGEM SISTÊMICA

Nos estudos de Geografia (Física) que abordam transformações da paisagem, bem como, buscam o entendimento conjunto dos fenômenos naturais e sociais, tendo em vista compreensões globalizantes das interações e dinâmicas socioambientais, os métodos de abordagem sistêmica e análise integrada constituem em importantes ferramentas de investigação (OLIVEIRA e SOUZA, 2012).

A análise integrada investiga as interferências na paisagem de modo a compreender mutuamente os fenômenos naturais e sociais, dedicando especial atenção à interação sociedade-natureza, à interferência e impactos antrópicos no meio natural, visando à compreensão dos fenômenos e consequências decorrentes desta interatividade (OLIVEIRA e SOUZA, 2012).

A abordagem sistêmica se volta ao entendimento do sistema sociedade-natureza, e traz em seu escopo a incorporação das atividades humanas em relação às dinâmicas do meio físico. Nesta relação consideram-se as atividades humanas mais pelo viés antrópico do que social, ou seja, o humano ativo e atuante no meio natural (CHORLEY, 1973). Esta abordagem parte da ideia de sistemas complexos, objetivando as trocas de energia e matéria, e absorve a ideia de interatividade e conjunção. Por outro lado, desconsidera a visão fragmentada, centrada no elemento (NUNES et al., 2006).

A Teoria Geral dos Sistemas apresentada por Ludwig Von Bertalanffy na década de 1950, dá início à temática dos sistemas na ciência moderna. Em conformidade a esta, os fenômenos naturais são organizados com base na troca de matéria e energia, ou seja, constituem-se em sistemas abertos. Esta teoria procura compreender a natureza através de uma abordagem holística dos fenômenos naturais ou através da inter-relação entre seus elementos. Considera ainda que o funcionamento dos sistemas se dá através de um equilíbrio dinâmico, que pode ser alterado por acréscimo de energia e matéria no sistema, que conseqüentemente buscará nova situação de equilíbrio nessa nova condição (CHRISTOFOLETTI, 1990).

Christofoletti (1979) aponta que alguns autores caracterizam os sistemas enquanto um conjunto de objetos que possa ser relacionado no tempo e no espaço, e além das

relações, para ser considerado um sistema, faz-se necessário que haja finalidade, que o conjunto dos objetos execute uma função.

Christofolletti (1985) aponta que a abordagem sistêmica, o uso de modelos, de estatística e matemática derivam da aplicação da metodologia científica embasada no positivismo lógico ou neopositivismo, que em muito caracterizam a geografia quantitativa.

Esta abordagem sistêmica, a partir da década de 1950, trouxe à ciência possibilidades de entendimento e investigações de caráter mais globalizante. Para a Geografia em particular esta nova maneira de entender os fenômenos e objetos permitiu uma maior integração entre os elementos que a compõem, uma análise indissociável entre a sociedade e a natureza (LIMBERGER, 2006).

O autor ainda inclui à abordagem sistêmica aplicada à Geografia a teoria da complexidade (visa uma complexificação em detrimento da simplificação), por esta última proporcionar uma visão da emergência de atributos, gerados através da interligação das partes que compõe o “todo”, que para a Geografia é a organização do espaço.

A compreensão sistêmica ou geossistêmica abrange as inúmeras relações entre os elementos naturais (clima, geologia, relevo, hidrografia, solo e vegetação) simultaneamente a ação antrópica, como forma de compreensão dos aspectos relacionados à morfologia da paisagem (COSTA & ROCHA, 2010).

O conceito de sistema originário da proposta teórica do geossistema resultou num método naturalista pautado marginalmente às ciências sociais e nas práticas de organização espacial (NUNES et al., 2006).

Barros (2012) afirma que na Geografia Física, é hegemônica a utilização da abordagem sistêmica e sua utilização em metodologias voltadas ao desenvolvimento de modelos representativos. Por outro lado, o uso e aplicação da Teoria Geral dos Sistemas não se apresenta de modo evidente, e sim através da utilização implícita de seus pressupostos.

O autor ainda ressalta a mudança de paradigma voltada às abordagens totalizantes nas pesquisas científicas, que em virtude da complexidade precisam ser separadas em

partes, mas com a intensa busca do todo, que não pode ser uma mera junção de suas partes. Para o autor, este novo paradigma apenas sinaliza para o futuro, haja vista, a hegemonia dos microestudos particularizados em Geografia. Destacam-se nesta mudança os estudos ambientais relacionados aos impactos das atividades antrópicas e conseqüentemente a busca de soluções para minimização de seus efeitos. Desta forma, em Geografia estes estudos passaram a ser realizados de forma integrada entre várias áreas, passando a existir intensa troca de informações, de interdisciplinaridade e a busca por uma compreensão geral dos fenômenos.

Neste sentido, a abordagem dos estudos ambientais exigem parâmetros que compreendam as dinâmicas espaciais, a análise do estado e o funcionamento do sistema. Desta forma, se busca atingir uma compreensão totalizante e plena das composições espaciais, bem como das diferenciações considerando a escala temporal do sistema (NUNES et al., 2006).

7. METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS

7.1 - ACERCA DO MÉTODO DE PESQUISA

A definição do método para a presente pesquisa buscou contemplar a visão de interdependência entre os fatores e variáveis relacionados ao fenômeno erosão do solo à luz das mudanças de cobertura e uso e práticas de manejo aplicadas (BOTELHO; SILVA, 2004). Para tanto, a presente metodologia parte do pressuposto de que fenômenos, como os processos erosivos acelerados, resultam de desequilíbrios entre os fluxos de energia e matéria em sistemas como as vertentes, bem como as bacias hidrográficas. Neste sentido, recorre-se ao conceito de modelagem aplicada à representação do comportamento de fenômenos multifatoriais, como os processos erosivos, em sistemas *abertos* e *não isolados*, como as bacias hidrográficas. O termo *aberto* indica que existe a entrada de matéria e energia, ao passo que o termo *não isolado* indica a possibilidade de troca de matéria e energia com outros sistemas subsequentes (CHORLEY, 1962; COELHO-NETO, 1995).

A entrada de energia ocorre mediante ocorrência de chuva que, por meio da precipitação, permite o chamado *input* que, associada à ação da gravidade e na presença de altitude, implica na geração de energia potencial. Já na área da bacia os desníveis altimétricos implicam na ocorrência de energia cinética ou energia do movimento. Tal energia, além da massa resultante da ocorrência de chuva, se potencializa por meio da adição e transporte de detritos e sedimentos provenientes, principalmente, da desagregação do solo, se constituindo no processo de esculturação do relevo.

Neste sentido, percebe-se que o tempo de ocorrência da interação de energia nessas duas formas com a superfície terrestre é de suma importância, pois o mesmo determina o ritmo e a intensidade de ocorrência dos processos morfogenéticos no sistema bacia hidrográfica. Dessa forma, entende-se que avaliar a energia cinética decorrente, sobretudo, dos processos de escoamento superficial é de suma importância para a compreensão dos processos erosivos. Esta energia está diretamente relacionada à matéria e à velocidade dos processos superficiais. Estes, por sua vez, estão diretamente relacionados às condições de cobertura e uso do solo que determinam a relação entre infiltração e escoamento superficial.

Considerando o exposto, entende-se que a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos, considerando em um cenário a adoção de práticas de manejo agrícola convencional e em outro a aplicação de práticas de manejo agrícola conservacionistas, consiste em uma estratégia de ação por meio da qual é possível avaliar a redução de perda de solos na área face à aplicação de práticas conservacionistas.

7.2 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa escolheu-se trabalhar com o método sistêmico ou de análise integrada, visando assim contemplar os mecanismos sinérgicos, isto é, intercâmbio de matéria e energia, entre os componentes de um sistema, aqui considerado como a bacia hidrográfica.

Por tal razão, um primeiro passo considerado em decorrência do método de abordagem adotado, foi reconhecer os limites do sistema bacia hidrográfica. Este é naturalmente delimitado pelos segmentos mais elevados dos interflúvios ou, mais precisamente, conhecidos como divisores de água, compondo dessa forma sistemas hidrográficos que gradativamente se interligam formando canais e bacias de maior porte. Para tanto, como produto base para interpretação e mapeamento desse sistema utilizou-se do Modelo Digital de Elevação (MDE) PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar - *Radar de Abertura Sintética que opera na banda L*) do satélite ALOS (Advanced Land Observation Satellite - *Satélite Avançado de Observação Terrestre*) com resolução espacial de 12,5m. Após a transferência ou download a partir do sítio <<https://search.asf.alaska.edu/#/>> os mesmos foram projetados tendo como Datum geodésico SIRGAS 2000 e projeção Universal Transversa de Mercator, tendo como Meridiano Central 51° W Greenwich.

A partir do Modelo Digital de Elevação, um primeiro produto a ser destacado diz respeito ao modelo de sombreamento no relevo ilustrado na parte **a** da figura 21. Este produto proporciona uma visão do relevo resultante do sombreamento nas vertentes que se encontram opostas à incidência dos raios solares. Por consequência, permite, ainda que em uma primeira aproximação e de forma qualitativa, visualizar as feições do relevo tais como a rugosidade do terreno e, principalmente, a bacia hidrográfica. Já na parte **b** da mesma figura tem-se o mapa de hipsometria ou de cotas altimétricas, com opacidade

de 30% e sobreposto ao modelo de sombra com exagero vertical de 9 vezes. Esta associação permite visualizar, ainda que de forma aproximada, as áreas fluviais e interfluviais, tais como os canais de drenagem e os divisores de água, respectivamente. Permite também uma compreensão de como estão distribuídas as cotas altimétricas e respectivas áreas de abrangência ao longo da bacia. Por consequência consiste em uma primeira aproximação do sistema hidrográfico em estudo, com destaque especial para os seus limites nas cores mais avermelhadas.

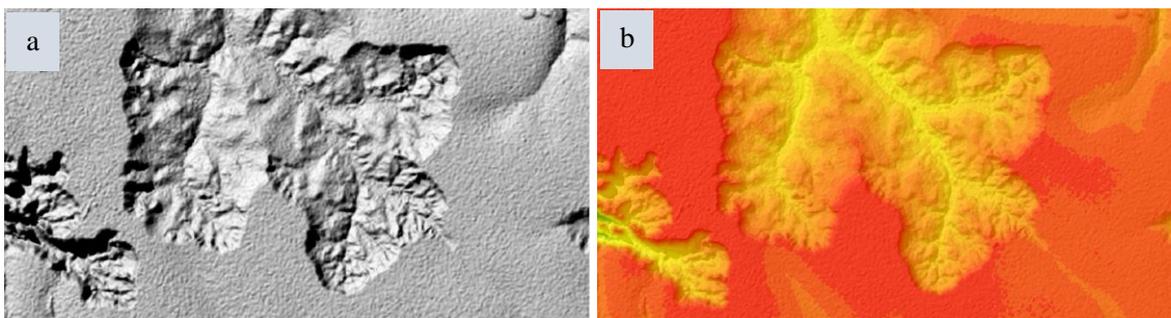


Figura 21 - Materiais utilizados na definição e mapeamento da área de estudos: modelo de sombra parte a; modelo hipsométrico associado ao modelo de sombra parte b.

Já em relação ao conhecimento dos limites da bacia em escala de detalhe, aos dois primeiros produtos foi acrescido um terceiro que corresponde as curvas de nível. Para tanto, estas foram extraídas com equidistância de 5 metros a partir do mesmo Modelo Digital de Elevação. Dessa forma, tendo por base a associação destas com o relevo sombreado e ao modelo de hipsometria, foi possível delimitar com uma precisão de 12,5 metros (resolução espacial do Modelo Digital de Elevação) os limites da área de estudos. Neste sentido, na parte **a** da figura 22 tem-se o modelo de sombra anteriormente avaliado. Já na parte **b** da mesma figura tem-se, além desse, o modelo de hipsometria associado às curvas de nível com equidistância de 5 metros. Feita a análise deste conjunto de materiais representativos das feições do terreno, o passo seguinte foi observar a disposição ou alinhamento dos vértices das curvas de nível, cuja perpendicularidade indica o traçado do segmento mais elevado de cada interflúvio e, por consequência, dos divisores de água.

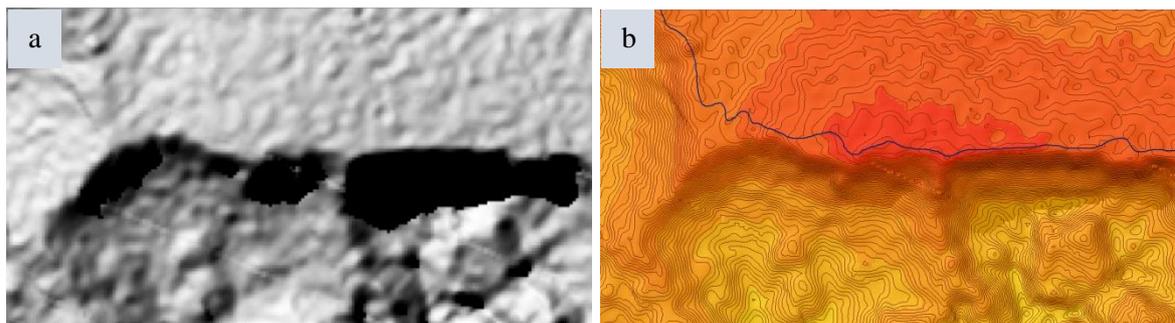


Figura 22 - Materiais utilizados na definição e mapeamento da área de estudos. Modelo de sombra (parte a); e curvas de nível associadas ao modelo de hipsometria e sobrepostas ao modelo de sombra (parte b).

7.3 - EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE) consiste em um modelo empírico, cuja finalidade é estimar a perda de solos em um dado intervalo de espaço e tempo, considerando as condições climatológicas, pedológicas, morfométricas, em especial declividade e comprimento de fluxo, e principalmente os tipos de uso e as formas de manejo do solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978)

Representa a combinação entre clima (chuvas), solos (características físicas), topografia (comprimento e inclinação das vertentes) e uso da terra (com/sem manejo conservacionista) a fim de investigar a erosão laminar dos solos. Estes se relacionam a quantidade e intensidade das chuvas, o escoamento superficial, ao uso e cobertura do solo, e principalmente, ao manejo e proteção contra o impacto da chuva e escoamento superficial, e ao comprimento inclinação e forma das encostas (BAGHERZADEH, 2012).

A EUPS/USLE estima quantitativamente a erosão do solo em toneladas/hectare/ano ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) pelo produto empírico:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Em que:

- A = estimativa de perda de solo, em ton/ha/ano;
- R = fator erosividade da chuva, em Mj.mm/ha.h.ano;
- K = fator erodibilidade do solo, em ton.ha/Mj.mm;
- L = fator comprimento de encosta ou rampa, em m;
- S = fator declividade da encosta ou rampa, em %;
- C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;
- P = práticas conservacionistas, adimensional.

7.3.1 - FATOR R - EROSIVIDADE DAS CHUVAS

A elaboração da erosividade das chuvas resultou da avaliação de dados de diversas fontes, bem como de trabalhos já desenvolvidos na área. Entre os trabalhos destaca-se o de Santana et al. (2007), que se baseia no cálculo do índice de erosividade das chuvas para cada mês resultante de dados de 28 estações pluviométricas localizadas na Alta Bacia do rio Araguaia. Outro trabalho de grande relevância refere-se àquele desenvolvido por Oliveira et al. (2012), o qual consiste em uma ampla revisão da erosividade da chuva para todo o Brasil a partir das principais bases de artigos científicos, dissertações e teses acerca da erosividade da chuva no Brasil. Em ambos os estudos a erosividade das chuvas na região ficou entre 8.000 e 10.000 $\text{Mj ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Entre os trabalhos mais recentes destaque para aquele desenvolvido por Gomes et al. (2017), cujos valores de erosividade ficaram entre 8.000 e 10.000 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Após a avaliação desses trabalhos, foi elaborado um novo mapa de erosividade, considerando um conjunto de dados de precipitação mensal e anual mais consistentes, os quais resultam da coleta de dados pelas estações do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, incorporados em outras bases de dados.

Especificamente, para o cálculo de erosividade das chuvas foram utilizados os dados do projeto TerraClimate (ABATZOGLOU et al., 2018) desenvolvido pelo Laboratório de Climatologia da Universidade de Idaho - Estados Unidos, a partir do sítio <<http://www.climatologylab.org/>>. Trata-se de uma série de dados acerca de diversas variáveis climatológicas, entre elas precipitação mensal e anual, modelados para a quase totalidade da superfície terrestre no período de 1958 a 2019 mais atualizações, com nível de detalhamento espacial de 4 km. Importante ressaltar que, embora boa parte da variabilidade espacial dos referidos dados resulte de modelagem complementada por produtos de Sensoriamento Remoto, os mesmos se mantêm fidedignos em relação aos dados empíricos registrados pelas estações climatológicas. A principal diferença é que, enquanto o trabalho de interpolação de dados pontuais ocorre via procedimentos estatísticos, os dados espaciais TerraClimate decorrem da modelagem física de variáveis que determinam a precipitação, se mantendo, portanto, fidedignos em relação aos condicionantes físicos de cada área (ABATZOGLOU et al., 2018).

A partir dos referidos dados elaborou-se a série de precipitações mensais e anuais do período 1984 - 2018, e em seguida foi aplicada a equação de erosividade mensal e anual de chuvas proposta por Oliveira et al. (2011) para a cidade sul-mato-grossense de Coxim que, de acordo com a revisão feita por Oliveira et al. (2012) é a mais próxima da área de pesquisa possuindo, inclusive, comportamento climático muito similar à área das nascentes do rio Araguaia. Dessa forma, a erosividade da área é representada pela seguinte equação:

$$Ei_{30} = 247,35 + 41,036 (p^2/P)$$

Em que: Ei_{30} é o índice de erosividade da chuva considerando a intensidade máxima em um período de 30 minutos, em $MJ\ mm\ há^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$; 247,35 e 41,036 são constantes da equação representativa da área; p = precipitação média mensal, em mm; e P precipitação média anual, em mm.

Dessa forma, de posse dos dados mensais de precipitação do período 1984 -2018 e da equação de erosividade, o passo seguinte foi a elaboração dos cálculos de erosividade mensal, bem como o somatório anual por meio de programação em geoprocessamento. Tanto para a erosividade mensal, quanto para a erosividade anual, considerou-se a média de precipitação mensal de cada mês, bem como a anual no período 1984 - 2018, buscando assim trabalhar com valores mais representativos do comportamento do clima da área.

7.3.2 - MAPEAMENTO DAS CLASSES DE SOLO E ATRIBUIÇÃO DOS VALORES DO FATOR K

A elaboração do mapa de solos com um melhor nível de detalhamento, especialmente quanto ao número e ao limite das classes conhecidas, bem como sua correspondência e erodibilidade, foi desenvolvida em três etapas. A primeira consistiu no levantamento e análise dos materiais cartográficos e respectivos relatórios já existentes em diversas escalas, os quais apresentaram também aspectos importantes tais como materiais e métodos utilizados no processo de mapeamento. Entre os mapeamentos existentes destacam-se o trabalho pioneiro de Novaes et al. (1983) realizado no âmbito do projeto RADAMBRASIL; Barbalho e Castro (2002); Marinho e Castro (2003); Resende (2003); Martins (2003); e Nunes (2015). Estes trabalhos abrangem a parte da alta bacia, conhecida como Setor Sul da alta bacia do rio Araguaia, na escala 1:100.000, cujas classes

de solos contemplam até o terceiro nível categórico. Concomitante ao levantamento dos tipos de solo, procedeu-se também ao levantamento da erodibilidade ou fator K de cada classe por meio de levantamento bibliográfico priorizando os trabalhos encontrados para a área ou próximos dela. Importante ressaltar que todos esses mapeamentos foram desenvolvidos por meio de uma releitura e avaliação de produtos anteriormente desenvolvidos e complementados por meio de topossequências em transectos de maior variabilidade e dúvidas acerca dos tipos de solo. Todas as classes identificadas foram atualizadas de acordo com a nomenclatura constante no mais recente Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2018).

Diante da necessidade de obtenção de um produto cartográfico mais preciso e de melhor acurácia com o terreno, a segunda etapa consistiu no refinamento das classes de solos utilizando para tanto variáveis morfométricas e morfográficas elaboradas a partir do modelo digital de elevação - PALSAR - ALOS - com resolução espacial de 12,5 metros. A redefinição dos limites dos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos se deu pela análise do gradiente altimétrico ao longo do canal de drenagem associado à curvatura do perfil e à declividade das vertentes. Estes solos tendem a ocorrer em locais de elevada concavidade, associada a declividades de no máximo 3%, e ao longo de canais com baixo gradiente altimétrico que permitem a permanência de boa parte da água precipitada, conferindo umidade na maior parte do tempo, o que provoca a redução dos compostos de ferro (EMBRAPA, 2018). Em geral, a montante das áreas de Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos tem-se áreas produtoras de sedimentos mais ativas.

Procedimento semelhante foi adotado para o refinamento das áreas com a ocorrência de Latossolo Vermelho. Para tanto, utilizou-se como parâmetro a declividade, em que para a ocorrência das classes de Latossolo Vermelho admite-se até 8%. Para a ocorrência de Neossolo Quartzarênico Órtico admitiu-se declividades de até 13%, mas ocorrendo sobre arenitos eólicos da Formação Botucatu.

Já a terceira etapa consistiu na reelaboração do mapa de solos por meio da classificação supervisionada, tendo como base todos os dados e informações levantados e correlacionados com as variáveis morfométricas e morfográficas contínuas elaboradas a partir do Modelo Digital de Elevação. As classes de solo, refinadas e respectivos valores de Fator K encontram-se sistematizadas no quadro 8.

Quadro 8 - Classes de solo, textura e respectivos valores de Fator K.

CLASSE DE SOLO	TEXTURA	FATOR K	FONTE
Latossolo Vermelho Distrófico	Argilosa a Média a	0,0061	MANNIGEL et al. (2002).
Neossolo Litólico Distrófico	Arenosa a Cascalhenta	0,0302	MORAIS et al. (2017).
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Média a Arenosa	0,0420	(DEMARCHI; ZIMBACK, 2014).
Cambissolo Háptico Distrófico	Média	0,0441	MANNIGEL et al. (2002).
Neossolo Quartzarêncio Hidromórfico	Arenosa	0,0500	(CASTRO, 2011).
Neossolo Quartzarêncio Órtico	Arenosa	0,0550	(CASTRO, 2011).

7.3.3 - FATOR LS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS

Para o cálculo do fator topográfico LS da Equação Universal de Perda de Solos utilizou-se do Modelo Digital de Elevação PALSAR - ALOS com resolução espacial de 12,5 metros. Este, após receber projeção cartográfica, foi submetido a uma análise detalhada quanto às anomalias resultantes da interferência do dossel da vegetação mais densa, bem como das condições de umidade do solo nos valores de altitude. Posteriormente a esta etapa foi aplicado o procedimento de filtragem ou correção de pixels que se mostravam acentuadamente em desacordo com as feições do terreno, como apresentado ao longo da figura 23. Este procedimento foi necessário uma vez que interferências resultantes do dossel da vegetação, especialmente aquela mais densa, e umidade do solo podem resultar em valores de altitude em desacordo com a elevação do terreno. Por consequência pode interferir em todos os demais modelos morfométricos e morfográficos derivados.

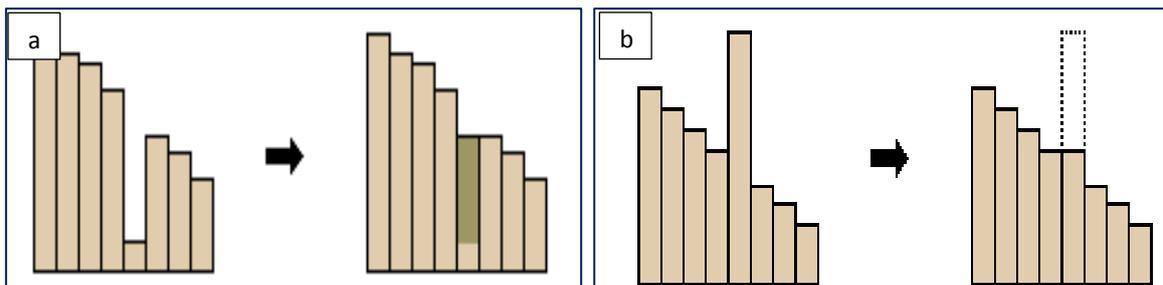


Figura 23 - procedimento de correção da anomalia de valores de pixels. Na parte a pixel com valor ligeiramente inferior e em b com valor ligeiramente superior à sua vizinhança.

Com o Modelo Digital de Elevação filtrado e hidrológicamente corrigido o próximo passo foi a extração dos segmentos de fluxo correspondentes aos canais de drenagem. Tal procedimento foi necessário, uma vez que o cálculo da estimativa de perda de solos deve se restringir ao comprimento das vertentes. Os canais de drenagem, por fazerem parte da dinâmica fluvial e, conseqüentemente serem mais longos, se inseridos no cálculo do comprimento de fluxo resultam em valores de fator LS superestimados. Dessa forma, os pontos de ocorrência das nascentes representam o limite para inserção do comprimento de rampa no cálculo do fator LS.

Com o Modelo Digital de Elevação devidamente preparado, o passo seguinte foi o cálculo dos comprimentos de fluxo, bem como da declividade e aplicação dos respectivos expoentes. Todos os procedimentos, bem como a aplicação da equação do fator LS foram realizados por meio dos módulos *Hydrology* e *Math* disponíveis no software ArcGIS. Para tanto utilizou-se da equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999), a qual consiste em uma modificação da equação original proposta no Agriculture Handbook do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, atendendo melhor as condições brasileiras, conforme apresentado a seguir:

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18}$$

Em que:

L = corresponde ao comprimento de rampa ou vertente, partindo do ponto mais elevado dos interflúvios até o início de cada canal de drenagem, em m; e S = corresponde à declividade da vertente, em %.

Nesta equação pode-se perceber que o expoente 0,63 do fator comprimento de vertente impede que este resulte em valores superestimados, evitando assim um peso igualmente superestimado para vertentes muito longas. Tal tendência é correlata ao comportamento dos fluxos hídricos no terreno, uma vez que o aumento da velocidade de

escoamento não depende somente do comprimento e sim deste associado à declividade da vertente. De forma semelhante pode-se perceber que o expoente 1,18 do fator declividade confere maior peso a essa variável, evidenciando que a velocidade de escoamento tende a ser maior sempre que em condições de declives mais acentuados.

7.3.4 - COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

Para a elaboração dos mapas de cobertura vegetal (formações vegetais e respectivas fitofisionomias) seguiu-se os pressupostos de RIZINNI (2007), o qual define que o processo de classificação da vegetação deve ocorrer principalmente pela aparência fisionômica exibida pelas espécies, formando assim, padrões reconhecidos pelo porte e cobertura vegetal. Adicionalmente recorreu-se a nomenclatura de classificação proposta por Ribeiro e Walter (2008), os quais apresentam e caracterizam as principais fitofisionomias presentes nas formações vegetais do domínio morfoclimático Cerrado (Formações Florestais, Savânicas e Campestres), como apresentado na figura 24. Para tanto, após a sistematização de suas respectivas coordenadas geográficas, procedeu-se a uma avaliação detalhada das imagens de satélite a fim de identificar e associar cada ponto com a assinatura espectral na imagem de satélite. O resultado desse exercício foi a elaboração de uma chave de interpretação que buscou associar as coordenadas da amostra de cada fitofisionomia com a assinatura espectral na imagem de satélite, bem como sua representatividade no perfil esquemático de Ribeiro e Walter (2008).

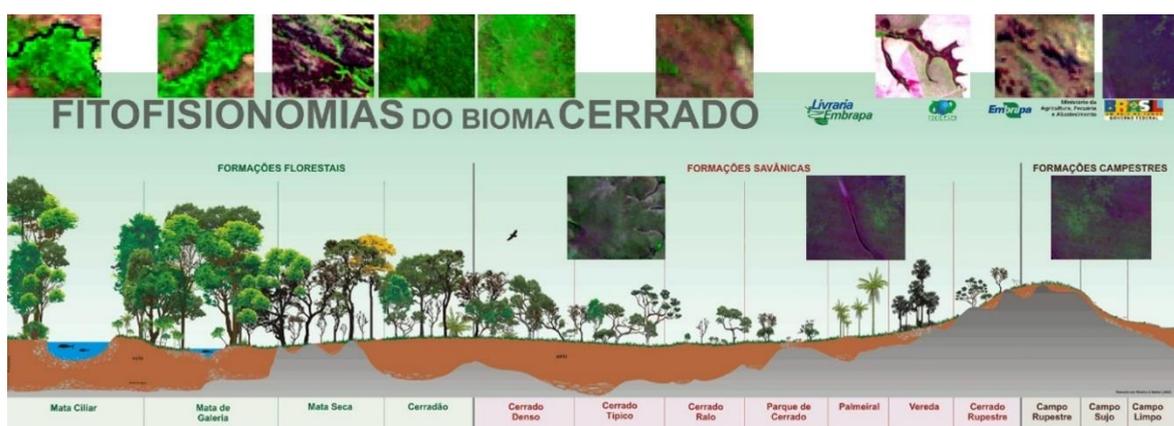


Figura 24 - Fitofisionomias do bioma Cerrado e sua correspondência em cor e textura a partir de imagens OLI Landsat 8. Fonte: adaptado pelo autor a partir de Ribeiro e Walter (2008).

Já em relação ao uso do solo (formas de uso do solo e práticas de manejo) baseou-se na literatura que aborda as principais formas de uso e práticas de manejo aplicadas na

área e também aos censos agropecuários do IBGE para os anos em análise. Para tanto, recorreu-se aos trabalhos de Barbalho et al. (2013) que abordam a expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do Estado de Goiás no período de 2001 a 2011; Barbalho (2010) que relaciona a ocorrência de processos erosivos hídricos lineares com a cobertura vegetal e uso da terra; e análise dos trabalhos de Castro et al. (2004), os quais utilizaram cartas topográficas do IBGE de 1976 no processo de restituição da cobertura vegetal e uso do solo. Baseou-se também na revisão de trabalhos desenvolvidos mais recentemente para a área, tais como Castro et al. (2007) que tratam da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás; Nunes (2015) que aborda a ocorrência de processos hídricos lineares no município de Mineiros. Todos esses trabalhos resultaram em um rico acervo de registros fotográficos georreferenciados, os quais permitiram a elaboração de diversos mapas com o histórico de cobertura e uso da terra na região das nascentes do rio Araguaia.

Após levantamento bibliográfico acerca das principais fitofisionomias e formas de uso do solo da área, utilizou-se imagens do sensor TM do Satélite Landsat 5 órbita 224 e ponto 072, referentes aos dias 4 de setembro de 1984; 30 de setembro de 1994 e 25 de julho de 2004, na composição RGB 543, realce espectral de 2% e resolução espacial de 30 m. Para os anos de 2014 e 2018 utilizou-se imagens OLI do satélite Landsat 8, órbita 224, ponto 072, referentes aos dias 21 de julho de 2014 e 17 de agosto de 2018 na composição RGB 654 e realce espectral de 2% e com a mesma resolução espacial.

Em relação à configuração e aplicação dos sensores TM e OLI dos satélites Landsat 5 e 8, respectivamente, destacam-se a equivalente resolução espacial de 30 metros e uma correspondência espectral muito ajustada, especialmente no que se refere à faixa espectral utilizada para análise de cobertura e uso do solo. Para o caso do sensor TM, o mesmo possui resolução espectral de 7 bandas, cobrindo um intervalo que varia de 0,45 a 2,35 micrômetros. Neste intervalo, as faixas utilizadas para imageamento ou que melhor respondem à reflectância de feições, variando de solo exposto a vegetação, são as bandas 5 (infravermelho médio), 4 (infravermelho próximo) e 3 (vermelho), com intervalos espectrais de 1,55 a 1,75 μm ; 0,76 a 0,90 μm ; e de 0,63 a 0,69 μm , respectivamente. Para o caso do sensor OLI - Landsat 8 o mesmo possui resolução espectral de 11 bandas, cobrindo um intervalo que varia de 0,64 a 1,65 μm . Em função do aumento do número de bandas, bem como melhor definição de faixas espectrais, houve a consequente redução

da faixa espectral do vermelho ao infravermelho médio, permitindo a inclusão da banda 6 no intervalo espectral destinado ao mapeamento de feições variando de solo exposto a vegetação. Assim, tais feições são identificadas no sensor OLI a partir da composição das bandas 6 (infravermelho médio), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) nos intervalos espectrais de 1,57 a 1,65 μm ; 0,85 a 0,88 μm ; 0,64 a 0,67 μm , respectivamente.

Para o processo de detecção de padrões espaciais e o reconhecimento de possíveis classes de uso e cobertura do solo, utilizou-se do algoritmo de Mean Shift disponível no software ArcGIS por meio do qual segmentou-se as imagens em padrões espaciais quanto à textura e à coloração adotando detalhe espectral de 18; detalhe espacial de 12, ambos em uma escala de 1 a 20; e área mínima mapeável de 4 pixels ou 3600 m^2 . Com as imagens segmentadas, elaborou-se uma chave de classificação a qual foi relacionada com a revisão bibliográfica, inventário de fotografias e observações de áreas representativas de cada fitofisionomia, possibilitando a identificação de cores e texturas presentes nas imagens.

Desta forma e considerando a chave de classificação elaborada, procedeu-se a classificação prévia de cada possível classe de cobertura vegetal, bem como de uso do solo, resultando assim, em uma primeira aproximação, conforme ilustrado ao longo da figura 25.

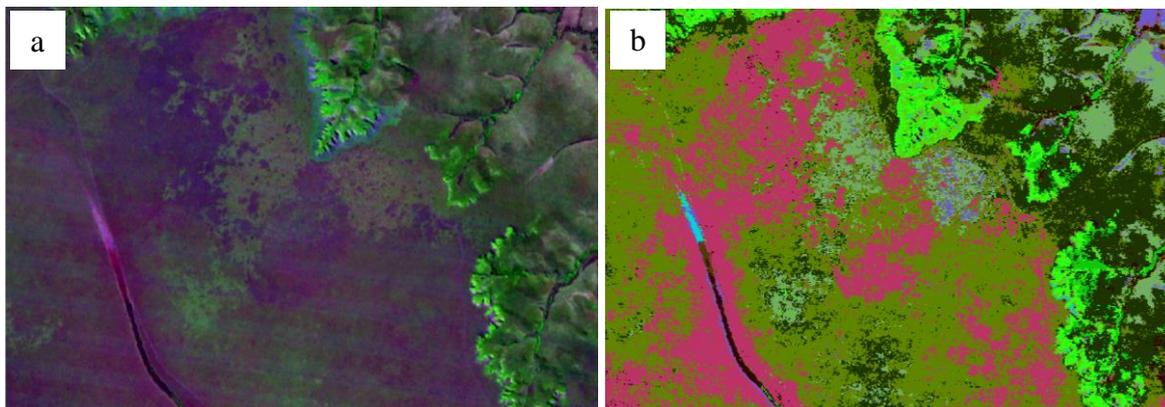


Figura 25 - Imagem OLI Landsat 8 na composição colorida RGB 654 (parte a); e imagem segmentada em padrões de coloração e textura (parte b).

7.3.5 - DETERMINAÇÃO DO FATOR COBERTURA/USO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

A determinação multitemporal do fator CP (Cobertura/Usos e Práticas Conservacionistas) da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS/USLE) se deu em duas etapas, quais sejam. A primeira consistiu no mapeamento das classes de cobertura

vegetal (formações vegetais e respectivas fitofisionomias) e uso do solo, mediante georreferenciamento, tratamento digital e análise de imagens de satélites da série Landsat (5 e 8) como descrito no tópico anterior. A etapa seguinte compreendeu o levantamento bibliográfico acerca dos fatores C e P que se mostraram compatíveis com as condições de cobertura e uso do solo vigentes na data de aquisição de cada imagem. Procedimento semelhante foi adotado na determinação dos fatores CP relacionados às práticas conservacionistas recomendados pelo Projeto Produtor de Água da Agência Nacional de Águas.

Desta forma, os valores do fator CP foram adicionados respectivamente ao arquivo físico vetorial de cada um dos mapas de cobertura e uso do solo, permitindo assim, a representação espacial dos valores fator Cobertura/Uso e Práticas Conservacionistas, conforme consta no quadro 9.

Quadro 9 - Classes de cobertura e uso do solo e respectivos valores do fator CP.

Classe de cobertura e Uso	Fator CP Convencional			Fator CP Conservacionista		
	Fator C	Fator P	Fator CP	Fator C	Fator P	Fator CP
Solo Exposto	1	1	1	1	1	1
Queimada	1	1	1	1	1	1
Pastagem	0,25	1	0,25	0,12	1	0,12
Solo Exposto - Agricultura	0,25	1	0,25	0,25	0.1	0,025
Agricultura	0,25	1	0,25	0,12	0.1	0,012
Agricultura - Cana-de-Açúcar	0,1	1	0,1	0,1	0.1	0,01
Silvicultura - Eucalipto	0,3	1	0,3	0,05	1	0,05
Campo Úmido	0	1	0	0	1	0
Cerradão	0,00004	1	0,00004	0,00004	1	0,00004
Cerrado Denso	0,00004	1	0,00004	0,00004	1	0,00004
Cerrado Ralo	0,01035	1	0,01035	0,01035	1	0,01035
Cerrado Típico	0,0007	1	0,0007	0,0007	1	0,0007
Mata de Galeria	0,00004	1	0,00004	0,00004	1	0,00004

Fonte: Adaptado de Stein et al., (1987); Oliveira (2012); ANA (2013); Gomes et al., (2017).

Por fim, após elaboração de todos os fatores da Equação Universal de Perda de Solos, devidamente espacializados e em seus respectivos recortes temporais, o passo seguinte foi a aplicação da fórmula corresponde à equação. Todas as etapas foram desenvolvidas por meio do módulo Math do software ArcGIS.

7.4 - FATOR CP E SUA INFLUÊNCIA NA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS (EUPS/USLE)

7.4.1 - Fator Cobertura e Manejo (fator C)

Representa na Equação universal de perda de solo (EUPS/USLE), a relação entre a perda de solo sob condições específicas de cultivo e a perda correspondente de pousio contínuo (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Bertoni & Lombardi Neto (2008) consideram o fator de cobertura e manejo do solo (C) como a relação de perda de solo tanto em áreas cultivadas ou descobertas. O fator (C) mede o efeito combinado de todas as variáveis de cobertura e gerenciamento do solo inter-relacionados (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O valor de C de uma determinada área é determinado por muitas variáveis, uma das quais é o clima. As principais variáveis que se relacionam ao fator de manejo e cobertura do solo (fator C) incluem a copa das culturas, cobertura morta de resíduos, resíduos incorporados ao solo, preparo do solo, uso do solo residual e suas interações. Cada um desses efeitos pode ser tratado como um subfator cujo valor numérico é a razão da perda de solo com o efeito para a perda correspondente sem ele. O fator C é o produto de todos os subfatores pertinentes (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O fator (C) também se baseia na integração de fatores que influenciam os processos erosivos, tais como, tipos de cobertura vegetal, manejo das terras e superfície dos solos (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD et. al, 1997; GOMES et. al, 2017).

Para alguns autores, após iniciado os processos erosivos, determinados fatores da EUPS/USLE adquirem maior ou menor importância na perda de solo. Para estes, a topografia (fator LS) se configura no fator de maior influência, enquanto o fator C corresponde o segundo fator mais importante da USLE/EUPS (BESKOW et.al, 2009; VAN DER KNIJFF et. al, 2000; FARHAN et.al, 2015).

No entanto, alterações no uso e manejo do solo podem intensificar os processos erosivos. Por outro lado, é o fator (C) que representa as condições que podem ser

facilmente alteradas para reduzir o escoamento superficial e a erosão do solo (CORRÊA et. al, 2016; GOMES et. al, 2017).

Embora tratado como uma variável independente na equação, esse fator depende de outros fatores. O fator C varia de quase zero (para uma boa proteção contra erosão; sistemas de manejo conservacionistas) a 1 (proteção deficiente contra erosão; sistemas não conservacionistas) (PROCHNOW et al., 2005; CORRÊA et. al, 2016; GOMES et.al, 2017).

7.4.2 - Fator de Prática de Suporte (P)

Em geral, sempre que solos de terrenos declivosos são cultivados e expostos a chuvas erosivas, além da proteção oferecida por gramíneas ou culturas de cultivo, fazem-se necessárias práticas de suporte que diminuam o escoamento superficial da água, e assim, reduzam a quantidade de solo transportado. O fator P na EUPS/USLE é a razão entre a perda de solo com uma prática de suporte específica e a perda correspondente na cultura de subida e descida (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Para Bertoni & Lombardi Neto (1990), o fator P corresponde à razão ou intensidade entre a perda de solo que ocorre em dada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive.

O fator (P) varia de acordo com as práticas de conservação do solo e, portanto, tem uma forte influência na perda de solo (BESKOW et.al, 2009; GOMES et. al, 2017).

As práticas de suporte (fator P) mais usuais à perda de solo em terras cultiváveis, aplicadas na EUPS são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas (WISCHMEIER & SMITH, 1978; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008).

Práticas aprimoradas de lavoura, rotações de gramíneas, tratamentos de fertilidade e maiores quantidades de resíduos vegetais deixados no campo e sobre os solos contribuem materialmente para o controle da erosão. Contudo, essas são consideradas práticas de conservação e manejo de conservação, e os benefícios derivados delas estão incluídos no fator C (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 - DINÂMICA NO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA (1984, 1994, 2004, 2014, 2018)

A delimitação da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia compreendida por esta pesquisa corresponde a uma área de 12.567,60 hectares (ha), sendo esta uma informação fundamental voltada a análise da dinâmica do uso do solo.

A análise da dinâmica do uso do solo e da cobertura vegetal da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia foi realizada a partir da série de cartas imagem e mapas de uso do solo (figuras 27 e 28) correspondentes aos anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2018.

A interpretação da paisagem da bacia das nascentes do rio Araguaia no ano de 1984 através da imagem TM Landsat 5, evidencia amplo processo de desflorestamento por meio de queimadas indiscriminadas (especialmente em toda a parte oeste da bacia), demonstradas na imagem de satélite pelo aspecto magenta-acinzentado. Este aspecto da imagem também é observado na década seguinte, no ano de 1994.

Conforme a figura 28 correspondente à série multitemporal de uso do solo (1984, 1994, 2004, 2014 e 2018) da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia, observou-se que no ano de 1984 a configuração e ordenamento do uso do solo se apresentavam inconsistentes e indefinidos, em virtude do amplo processo de desmatamento e degradação, razão pela qual se observou o maior percentual de áreas com características de solo exposto/desmatamento, considerando-se toda a série multitemporal.

Conseqüentemente no ano de 1994 observou-se o maior percentual de áreas destinadas ao uso antrópico do solo (agricultura de grãos e pecuária) e os menores percentuais de áreas atribuídas às vegetações naturais, considerando-se todos os anos da série multitemporal, como mostra o quadro 10. Faz-se ainda importante ressaltar que as áreas caracterizadas como solo exposto/desmatamento no ano de 1984 se apresentaram ocupadas pela agropecuária no ano de 1994.

A partir do ano de 2004, observou-se melhor definição e ordenamento dos ambientes ocupados tanto pelas atividades antrópicas, quanto pelas vegetações naturais. As áreas agrícolas ocuparam extensivamente a porção dissecada e rebaixada da bacia,

onde predominam Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos Órticos da Formação Botucatu; e também as porções altiplanas da bacia cobertas por espessos Latossolos Vermelhos da Formação Cachoeirinha.

É possível afirmar genericamente que as áreas onde predominam os arenitos da Formação Botucatu destinaram-se ao uso antrópico, enquanto as áreas de Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos foram destinadas à conservação das vegetações naturais. No ano de 2004, observou-se que o uso do solo foi destinado quase que exclusivamente à agricultura de grãos, tornando praticamente inexistentes as áreas destinadas à pecuária.

No ano de 2014, observou-se tendência à delimitação, definição e ordenamento dos ambientes destinados às atividades antrópicas (agricultura) e às vegetações naturais, semelhantes ao ano de 2004. Quanto ao uso antrópico observou-se predominância do uso agrícola do solo, e em áreas específicas da bacia verificou-se a silvicultura de eucaliptos.

Destaca-se no ano de 2018 a expansão das áreas destinadas às vegetações naturais, verificando-se os maiores percentuais desta forma de cobertura do solo em relação a todos os anos da série multitemporal. É também importante salientar a ampla substituição da agricultura de grãos para a cana de açúcar, em áreas correspondentes a 22% do total da bacia.

De modo geral, o quadro 10 demonstra em termos percentuais a variação espaço-temporal dos principais tipos de uso do solo e dos remanescentes de vegetação natural na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia. Este, juntamente do mapeamento multitemporal do uso do solo (figura 28) constituem a base de discussão deste capítulo, que tem o propósito de analisar as mudanças do uso e cobertura do solo nesta bacia, no período em análise.

Tendo como referência os mapas de cobertura e uso do solo, elaborados nos cinco recortes temporais (1984, 1994, 2004, 2014 e 2018), juntamente dos mapas de caracterização do meio físico foi possível estabelecer padrões espaciais tanto dos processos de desmatamentos e substituição das vegetações naturais, da ocupação e

expansão dos tipos de uso do solo, bem como das áreas destinadas à conservação e recomposição da vegetação natural.

Quadro 10 - Áreas em percentuais dos tipos do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Araguaia (Período 1984 – 2018)

ANO	Agricultura e/ou Solo agricultável	Pecuária	Eucalipto	Solo exposto/desmatamento	Vegetação Natural	Somatório do percentual de uso antrópico
1984	24,58%	10,89%	-----	34,15%	30,38%	69,62%
1994	40,24%	32,12%	-----	-----	27,64%	72,36%
2004	64,36%	3,92%	-----	-----	31,72%	68,18%
2014	57,97%	-----	7,32%	-----	34,71%	65,18%
2018	60,78%	-----	2,67%	-----	36,55%	63,45%

A fim de complementar a compreensão da dinâmica do uso do solo na bacia das nascentes do rio Araguaia, a tabela 1 elaborada a partir de dados de censos agropecuários do IBGE dos municípios de Alto Taquari (MT) e Mineiros (GO) nos anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2018, aponta os principais tipos de cultura, suas respectivas áreas em hectares e a dinâmica espacial destas. É importante lembrar que a bacia em estudo abrange áreas dos municípios citados.

Tabela 1: Área plantada (hectares) e cultivares (Alto Taquari e Mineiros). Fonte: IBGE

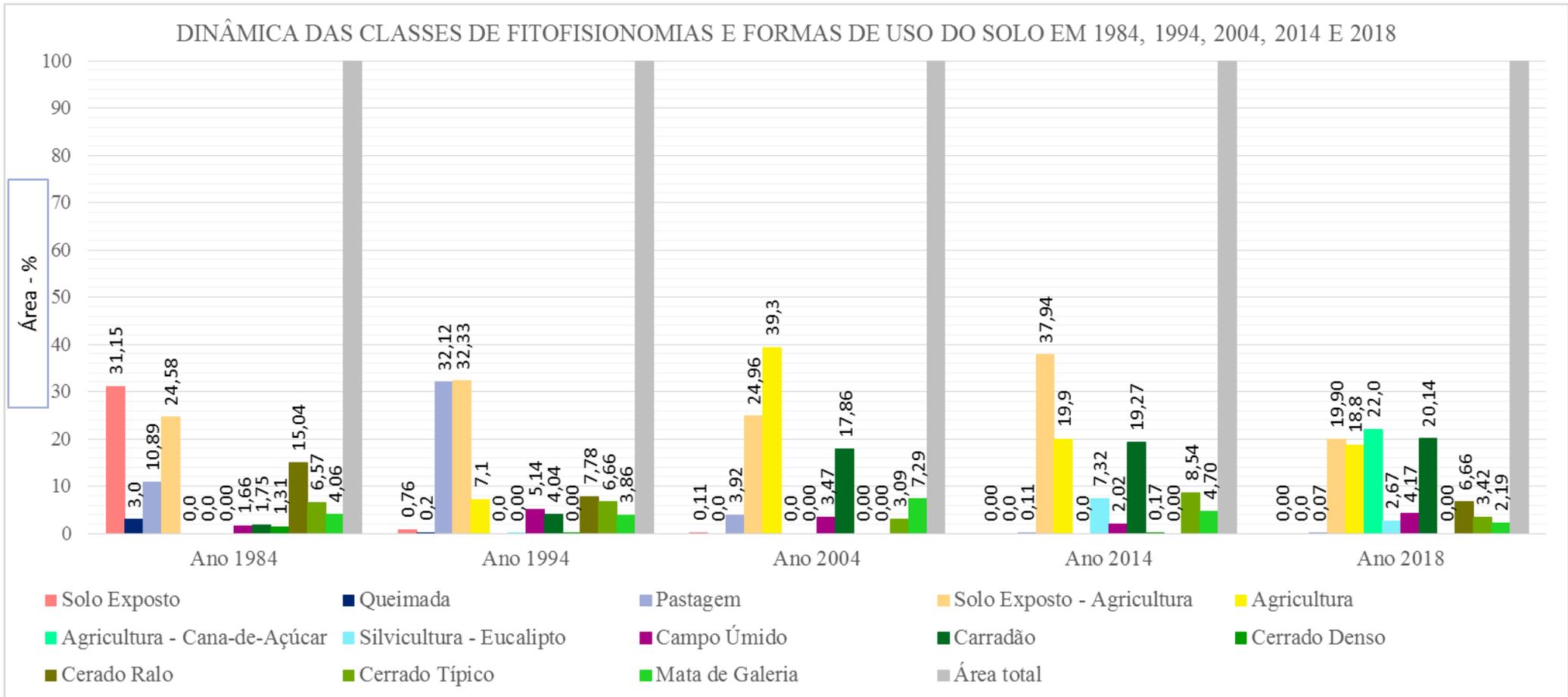
Produto das lavouras temporárias	Variável - Área plantada (Hectares)									
	ANO x MUNICÍPIO									
	1984		1994		2004		2014		2018	
	Alto Taquari (MT)	Mineiros (GO)	Alto Taquari (MT)	Mineiros (GO)	Alto Taquari (MT)	Mineiros (GO)	Alto Taquari (MT)	Mineiros (GO)	Alto Taquari (MT)	Mineiros (GO)
Soja (em grão)	59.160	83.000	85.000	132.000	53.650	93.000	47.373	93.000
Milho (em grão)	15.500	20.500	11.000	28.000	33.944	66.500	36.500	73.500
Cana-de-açúcar	-	70	-	15	43.350	52.000	40.000	50.000
Sorgo (em grão)	4.628	8.000	10.000	25.000	500	500	1.000	1.200
Algodão herbáceo (em caroço)	-	-	7.412	5000	9.410	1.670	3.875	2.000
Arroz (em casca)	450	6.500	1.500	1.000	-	-	-	-
Feijão (em grão)	-	400	400	-	250	1.200	-	1.800
Mandioca	10	1.800	10	45	10	-	10	-
Trigo (em grão)	-	215	1.050	2.000	-	-	-	-

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal

Destacam-se especialmente as culturas da soja, milho e cana de açúcar, predominantes nos dois municípios. No entanto, é notória somente a partir do ano de 2014 a expansão da cultura canavieira. Assim, as distintas culturas agrícolas e suas dinâmica espaciais refletem diretamente no fator CP e conseqüentemente na intensidade dos processos erosivos. O tópico 8.5 abordará esta questão de modo específico.

As figuras a seguir também subsidiam a análise multitemporal da dinâmica do uso, cobertura e ocupação da bacia das nascentes do rio Araguaia, apresentando respectivamente, (i) quadro da dinâmica multitemporal das fitofisionomias e formas de uso do solo (quadro 11); (ii) coleção de mapas dos atributos físicos (figura 26); (iii) conjunto de cartas imagem (figura 27); e (iv) conjunto de mapas de uso do solo (figura 28).

Quadro 11 - dinâmica multitemporal das fitofisionomias e formas de uso do solo – bacia das nascentes do rio Araguaia.



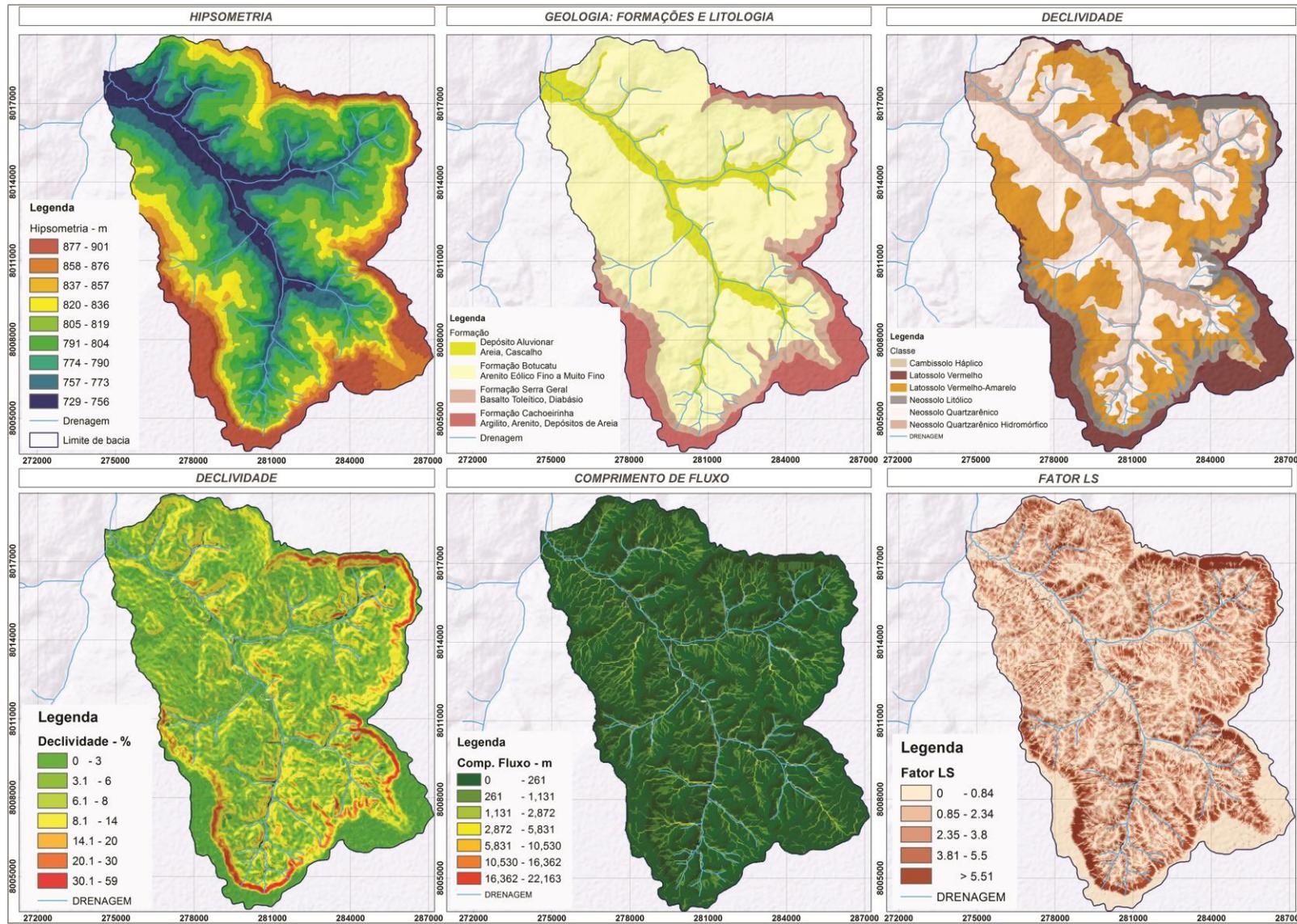


Figura 26 - coleção mapas físicos- bacia das nascentes do rio Araguaia.

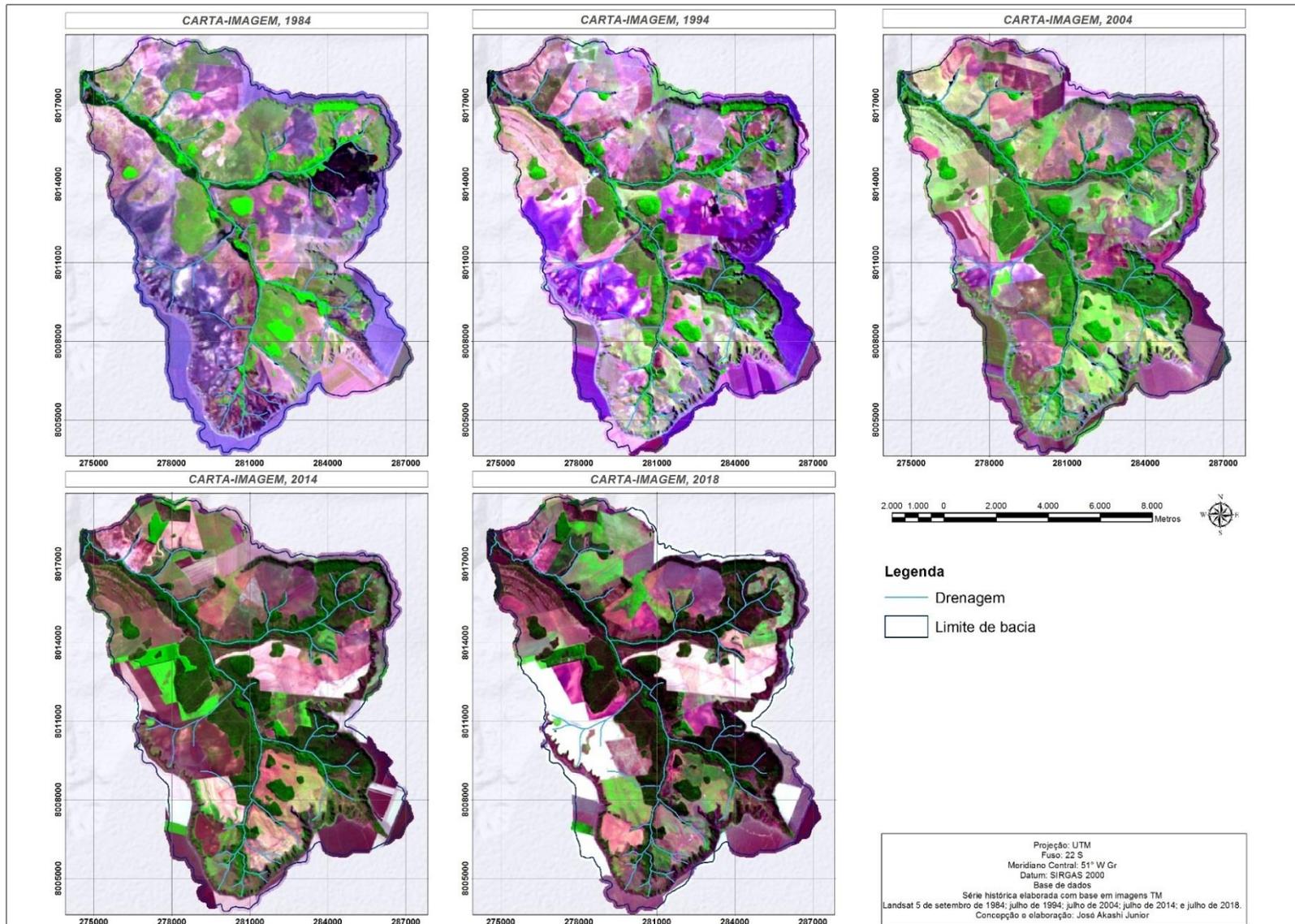


Figura 27 - série multitemporal de cartas imagem (satélite Landsat 5 TM e Landsat 8) – bacia das nascentes do rio Araguaia.

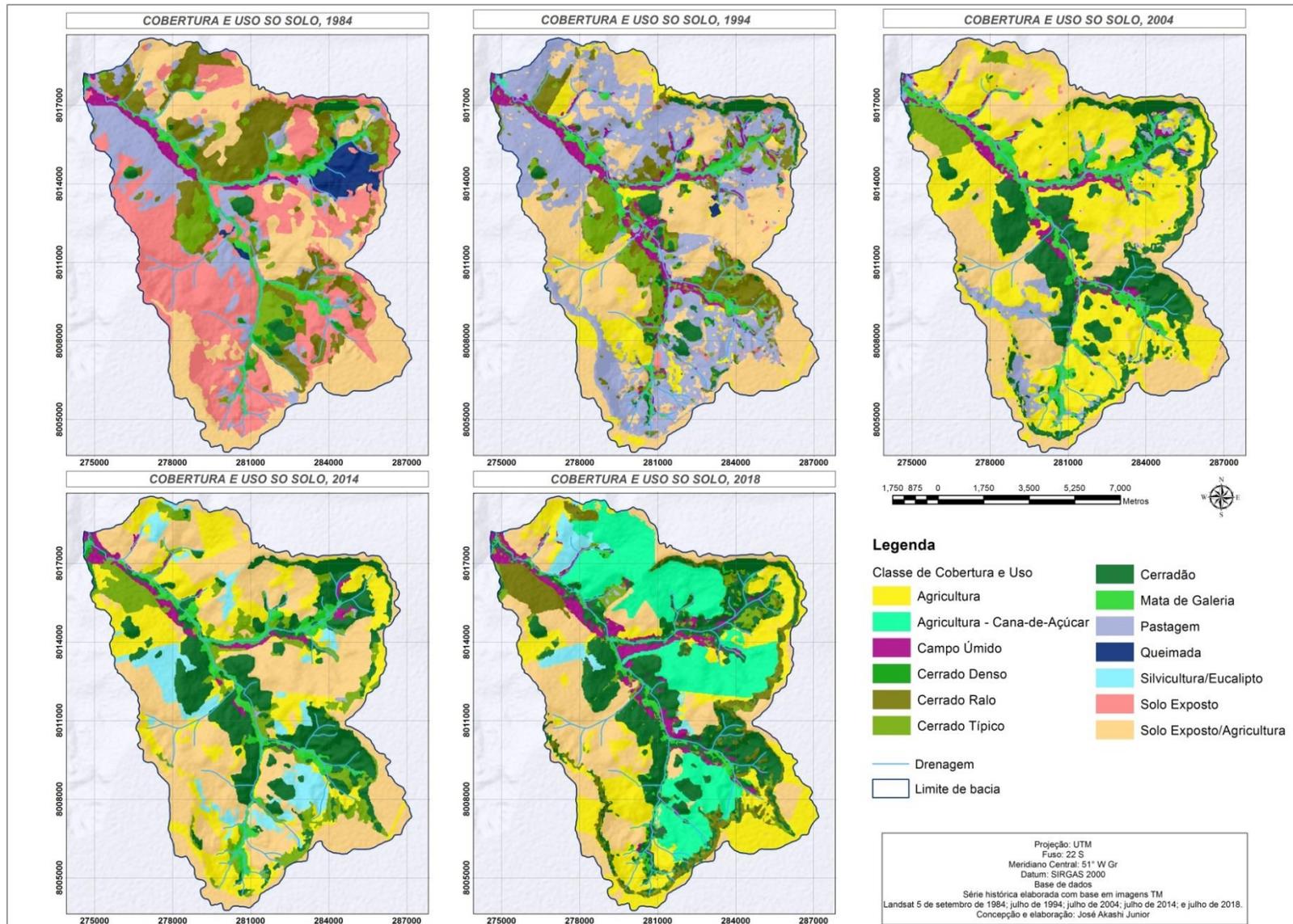


Figura 28 - série multitemporal de mapas de uso do solo – bacia das nascentes do rio Araguaia.

8.2 - ANÁLISE MULTITEMPORAL (1984, 1994, 2004, 2014 e 2018) DAS MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

8.2.1 - COBERTURA E USO DO SOLO – 1984

No ano de 1984 foi evidenciado amplo processo de desmatamentos e antropização. É possível observar que as áreas mais afetadas pela retirada da cobertura vegetal e ocupação antrópica na bacia das nascentes do rio Araguaia foram aquelas preferencialmente de relevo plano a suave ondulado, sobretudo, nas áreas em forma de pedimento.

Estas se encontram nos terrenos dissecados e rebaixados correspondentes à Formação Botucatu, situados em patamares altimétricos imediatamente abaixo das escarpas erosivas, cuja declividade média fica em torno de 8%. São ambientes constituídos por extensas vertentes onde ocorre predominantemente Latossolos Vermelho-amarelo de textura argilosa, que apresenta razoável potencial agrícola.

A imagem de satélite do ano de 1984 demonstra um processo de desmatamento executado através de queimadas extensivas e indiscriminadas (evidenciadas pela coloração magenta-acinzentada), que atingiram áreas inclusive inapropriadas às atividades de agropecuária.

A retirada da cobertura vegetal na forma de queimadas avançaram dentre outras sobre áreas de declividade acentuada, como as cabeceiras de drenagem de relevos dissecados e as escarpas erosivas, estas últimas com declividades de até 59% e predomínio de solos pouco desenvolvidos, tais como Cambissolo Háplico e principalmente Neossolo Litólico. Tais áreas apresentaram dificuldades de recomposição da cobertura vegetal ao longo do período 1984/1994.

Outras áreas bastante afetadas pelos desmatamentos e ocupação antrópica foram aquelas que marcam a transição dos pedimentos para a planície fluvial. São ambientes distinguidos por um ligeiro aumento da declividade, podendo atingir até 14%, e marcados pela predominância dos Neossolos Quartzarênicos Órticos oriundos dos arenitos eólicos da Formação Botucatu. Tais solos que comumente se mostram de grande fragilidade em decorrência da facilidade de degradação, apresentam alta

suscetibilidade a erosão, são de difícil recomposição em decorrência de sua composição arenosa (textura média a fina), pouca ocorrência de matéria orgânica e, por consequência, baixa capacidade de retenção de água (EMBRAPA, 2015).

Os ambientes destinados à conservação das vegetações naturais corresponderam às planícies fluviais do rio Araguaia onde se encontram baixas declividades (0 – 3%), baixo gradiente altimétrico, e predominância dos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos que se mostram propícios à saturação de água por maior período.

Nessas áreas predominam fitofisionomias do Cerrado associadas aos cursos d'água, tais como os campos úmidos, mata de galeria e mata ciliar, que se mostraram mais resistentes à degradação pelo fogo. É ainda possível afirmar que estas fitofisionomias de maior porte e densidade foliar, foram menos afetadas pelo processo de desflorestamento.

Outras áreas com maior predominância de remanescentes de vegetação corresponderam às áreas de relevos dissecados à montante da bacia. Estas compreendem áreas com maior ocorrência de nascentes, associadas a canais de drenagem de primeira ordem, ou próximas às escarpas erosivas.

Em síntese, o quadro 12 apresenta a espacialização das principais classes de uso e ocupação do solo do ano de 1984 que corresponderam à agricultura de grãos, pecuária, solo exposto/desmatamento, queimadas e vegetação natural. A ocupação antrópica neste ano perfaz uma área correspondente a 69,62% do total da bacia ou 8.749,56 hectares. Destaca-se no ano de 1984 o maior percentual de áreas com solo exposto em relação a todos os anos da série multitemporal, correspondendo a 34,15% da área total da bacia ou 4.291,84 hectares, conforme evidencia o quadro 10.

Quadro 12 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 1984

Percentuais de uso do solo no ano de 1984	Solo exposto (desmatamento)	Vegetação Natural	Agricultura	Pecuária	Queimada
	34,15%	30,38%	24,58%	10,89%	3 %
Área em hectares (ha) 1984	4.291,84 ha	3.818,04 ha	3.089,12ha	1.368,61 ha	377,09 ha

8.2.2 - COBERTURA E USO DO SOLO – 1994

As áreas destinadas ao uso antrópico no ano de 1994, totalizaram 72,36% da área da bacia das nascentes do rio Araguaia ou 9.093,92 hectares, o maior percentual de ocupação antrópica observado entre os anos de 1984 e 2018. Por conseguinte, as áreas destinadas às vegetações naturais corresponderam a 27,64% da área total desta bacia ou 3.473,68 hectares, o menor percentual de áreas ocupadas pelas vegetações naturais.

As principais classes de uso e cobertura do solo observadas neste ano consistiram apenas em agricultura de grãos, pecuária e vegetação natural, e suas especializações são demonstradas no quadro 13.

Quadro 13 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 1994

Percentuais de uso do solo no ano de 1994	Agricultura e/ou Solo agrícola	Pecuária	Vegetação Natural
	40,24%	32,12%	27,64%
Área em hectares (ha) 1994	5.057,20 ha	4.036,71 ha	3.473,68 ha

É importante ressaltar que as classes de uso do solo: solo exposto/desmatamento e queimadas evidenciadas em 1984 se encontravam ocupadas pelo uso agropecuário no ano de 1994.

De acordo com o mapa de uso do solo de 1994 é possível generalizar que as terras destinadas à pecuária ocuparam áreas de relevos dissecados associados às

cabeceiras de drenagem. Consecutivamente, a ocupação agrícola se instalou predominantemente em áreas de relevos planos a suave ondulado.

Em ambas as situações, tais ocupações de uso do solo estiveram diretamente correlacionadas à superfície rebaixada e dissecada, onde ocorrem os Latossolos Vermelho-Amarelo com declividades de até 8% e os Neossolos Quartzarênicos com declividade máximas de 14%.

As vegetações naturais destinadas à conservação estiveram predominantemente associadas às zonas ripárias e ao longo da extensão das planícies fluviais, áreas que prevalecem Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos.

A fitofisionomia 'cerrado ralo' correspondeu a principal tipologia de vegetação natural suprimida no intervalo 1984/1994, localizada em ambientes correspondentes aos Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos, substituída por uso agropecuário.

Por sua vez, a recomposição de vegetações naturais se deu em área adjacente a planície fluvial e em outro caso, junto a cabeceira de drenagem em área de relevo dissecado.

8.2.3 - COBERTURA E USO DO SOLO – 2004

O ano de 2004 marca essencialmente a existência de apenas duas modalidades de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia: agricultura de grãos e vegetação natural, como mostra o quadro 14.

Quadro 14 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 2004

Percentuais de uso do solo no ano de 2004	Agricultura e/ou Solo agrícola	Vegetação Natural	Pecuária
	64,36%	31,72%	3,92%
Área em hectares (ha) 2004	8.088,51 ha	3.986,44 ha	492,65 ha

Constatou-se mediante a análise multitemporal (1984/2018) da dinâmica do uso e cobertura do solo na bacia das nascentes do rio Araguaia, que no intervalo de 1994/2004 consolidou-se um processo de definição dos ambientes destinados à ocupação antrópica e também à conservação das vegetações naturais, e consequentemente, designando a bacia predominantemente ao uso agrícola.

Desta forma, é possível generalizar que no ano de 2004 as vertentes da porção rebaixada e dissecada de relevos planos a suave ondulados, nas porções a montante e intermediária, correlacionadas a Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos respectivamente, foram quase que totalmente destinadas ao uso agrícola. Esta forma de ocupação antrópica no ano de 2004 abrangeu 64,36% da área total da bacia, o maior percentual de área destinada a agricultura observado nesta análise multitemporal entre os anos de 1984 a 2018.

É importante salientar que entre os anos de 1984 a 2004, a expansão da agricultura nesta bacia correspondeu ao cultivo da soja, conforme aponta Castro e Xavier (2004), em compilação de censos agropecuários do IBGE (1980 – 2000) da região.

Por sua vez, as vegetações naturais a exemplo das décadas anteriores, apresentaram espacialização correlacionada às planícies fluviais do rio Araguaia associadas aos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos, e também às cabeceiras de drenagem em relevos dissecados.

Observou-se relativa expansão e adensamento das vegetações naturais em relação ao ano de 1994, quando ocupavam 27,64% da área da bacia ou 3.473,68 hectares, passando a 31,72% da área total da bacia ou 3.986,44 hectares em 2004. Esta ampliação foi observada principalmente ao longo das escarpas erosivas, onde se encontram declividades acentuadas (de até 59%) e solos pouco consolidados. É importante destacar que nos mapas de uso do solo dos anos de 1984 e 1994, não se observou a existência de vegetação nestas porções da bacia.

8.2.4 - COBERTURA E USO DO SOLO – 2014

Destaca-se no ano de 2014 a tendência à delimitação e ordenamento das áreas destinadas ao uso antrópico e à conservação das vegetações naturais observada no ano de 2004.

Em relação ao intervalo 2004/2014 é possível afirmar que a ocupação antrópica no ano de 2014 manteve espacialidade relativamente semelhante à do ano de 2004. No entanto, as áreas destinadas ao uso agrícola sofreram redução. Em 2004 correspondiam a 64,36% da área total da bacia ou 8.088,51 hectares, enquanto em 2014 passaram a corresponder a 57,97% da bacia ou 7.285,44 hectares.

Além da predominância agrícola na bacia foi observada no ano de 2014 uma nova modalidade de uso do solo, caracterizada pela silvicultura de eucaliptos, ocupando áreas anteriormente destinadas à agricultura. Também se observou a extinção definitiva da ocupação pecuária.

A silvicultura de eucaliptos, juntamente da agricultura e das vegetações naturais corresponderam às classes de uso e ocupação do solo predominantes na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia no ano de 2014, conforme demonstra o quadro 15.

Quadro 15 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 2014

Percentuais de uso do solo no ano de 2014	Agricultura e/ou Solo agricultável	Pecuária	Eucalipto	Vegetação Natural
	57,97%	-----	7,32%	34,71%
Área em hectares (ha) 2014	7.285,44 ha	-----	919,95 ha	4.362,21 ha

Notou-se, portanto, que no ano de 2014 as áreas destinadas ao uso antrópico corresponderam a 65,18% da área total da bacia ou 8.205,39 hectares, havendo redução em relação ao ano de 2004 quando correspondiam a 68,18% da área da bacia ou 8.581,16 hectares. Por conseguinte, no ano de 2014 houve expansão das áreas ocupadas pela vegetação natural, equivalendo a 34,71% da área total da bacia ou 4.362,21 hectares.

As áreas relativas às vegetações naturais observadas no ano de 2014 apresentaram ocupação e espacialidade semelhantes às dos anos de 1984, 1994 e 2004, indicando que estas foram conservadas ao longo do período analisado, junto às baixas vertentes, às margens do rio Araguaia, zonas ripárias, e porções das vertentes associadas aos cursos d'água e relevos movimentados.

8.2.5 - COBERTURA E USO DO SOLO – 2018

O uso do solo no ano de 2018 é marcado por vasta substituição da agricultura de grãos pela cana de açúcar. O impacto desta mudança trará grande implicação na redução da estimativa de perda de solo na bacia.

No geral, as áreas ocupadas pela agricultura de cana de açúcar corresponderam a 22% da área total da bacia ou 2.764,87 hectares. Relacionam-se a áreas anteriormente destinadas a ocupação antrópica, de modo que não avançaram sobre áreas de vegetação natural. Desta forma, ocuparam predominantemente áreas de relevos planos e suave ondulados, associados aos Latossolos Vermelho-amarelo e Neossolos Quartzarênicos, com declives de até 8% e 14% respectivamente.

Apesar da vasta área destinada à cultura canavieira, o tipo de uso do solo predominante na bacia foi a agricultura de grãos, sendo também observado pequenas áreas que se destinaram a silvicultura de eucalipto, conforme demonstra o quadro 16.

Quadro 16 - Áreas em percentuais e hectares dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das Nascentes do rio Araguaia no ano de 2018

Percentuais de uso do solo no ano de 2018	Agricultura de grãos e/ou Solo agrícola	Agricultura cana de açúcar	Eucalipto	Vegetação Natural
	38,78%	22%	2,67%	36,55%
Área em hectares (ha) 2018	4.873,71 ha	2.764,87 ha	335,55 ha	4.593,46 ha

No ano de 2018 observou-se o maior percentual de áreas destinadas a conservação das vegetações naturais, considerando-se a série multitemporal (1984-2018) de análise do uso e cobertura do solo. Estas vegetações se encontram

predominantemente associadas às margens do rio Araguaia e seus afluentes, a exemplo de todos os anos analisados. Algumas áreas de relevos dissecados a montante da bacia, associadas às nascentes de canais de primeira ordem sofreram expansão de suas vegetações naturais ao longo de 1984-2018. É possível ainda verificar que praticamente toda extensão das escarpas erosivas se apresentaram encobertas por vegetações naturais.

8.3 – FATOR CP E RELAÇÃO DA PERDA DE SOLOS POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

8.3.1 - POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE)

Nas vertentes ou encostas, as formas de cobertura de superfície e manejo agrícola integrada às práticas conservacionistas do solo favorecem a redução do escoamento superficial e dos processos erosivos (BRADY, 1989; GURGEL et. al, 2011).

Na espacialização de fenômenos analisados pela EUPS/USLE por meio de geoprocessamento, os fatores C e P podem ser analisados de forma integrada, não mais em função do estágio de desenvolvimento da cultura, mas sim pelo uso e cobertura da terra (BAPTISTA, 2003; VIEL et. al, 2017).

Os fatores C e P quando abordados de modo individualizado na EUPS/USLE, se aplicam a investigações voltadas a formas de produção agrícola de cunho conservacionista. No entanto, em estudos voltados à perda de solos por erosão, as variáveis C e P são de tal forma correlacionadas que não se pode analisá-las individualmente. A integração das variáveis CP, considerando $CP=1$ (constante), representa a pior situação de perdas de solo em virtude das práticas conservacionistas (STEIN et. al., 1987).

Neste sentido, o produto apenas dos condicionantes do meio físico da EUPS/USLE (R, K, L e S), corresponde ao Potencial Natural de Erosão (PNE) (erosão laminar), que equivale a estimativas de perdas de terras em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal (fator CP igual a 1) e sem qualquer intervenção antrópica (DONZELLI et al, 1992; VALÉRIO FILHO, 1994; OLIVEIRA et al, 2015).

A figura 29 corresponde à espacialização do Potencial Natural de Erosão (PNE) da bacia das nascentes do rio Araguaia e ao parâmetro máximo de perda de solos desta bacia. Nestas condições é bastante crítica a perda de solos na superfície pedimentada da bacia, onde predominam os arenosos Latossolos Vermelho-amarelo e os Neossolos Quartzarênicos Órticos originários da Formação Botucatu. O quadro 24 apresenta os valores absolutos das estimativas de perdas de solo em suas respectivas classes e compara a perda de solos com os demais anos da série multitemporal de perda de solos.

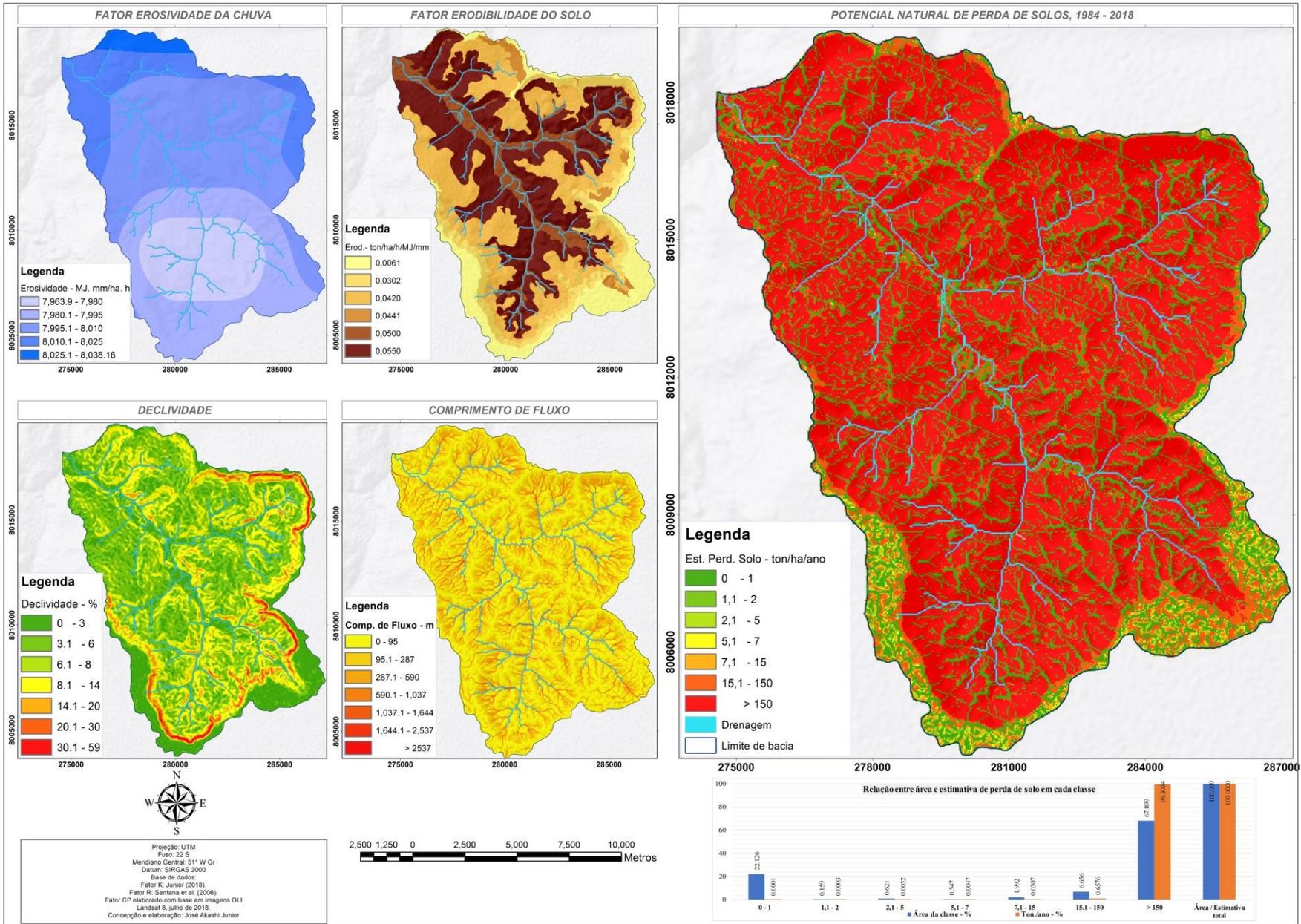


Figura 29 - Potencial Natural de Erosão (PNE) da bacia das nascentes do rio Araguaia

8.3.2 - ANÁLISE TEMPORAL DO FATOR CP NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

O fator CP está direta e intimamente relacionado aos tipos de uso e cobertura do solo. Conforme já citado, o fator CP varia numericamente de zero a 1. Considerou-se para esta pesquisa, em conformidade à literatura citada, que valores baixos do fator CP indicam que os ambientes, dentre outros aspectos, possuem cobertura vegetal suficiente para proteger os solos de processos erosivos laminares. Valores altos do fator CP indicam ambientes em desequilíbrio, com cobertura vegetal insuficiente para proteger os solos de processos erosivos de origem antrópica.

Desenvolveu-se nesta pesquisa um estudo multitemporal da evolução do uso do solo/fator CP, com vistas à análise da evolução multitemporal da estimativa de perda de solo pela EUPS/USLE na bacia das nascentes do rio Araguaia para os anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2018, considerando como método a abordagem sistêmica ou análise integrada.

O quadro 17 apresenta a síntese dos distintos tipos de uso e cobertura do solo e respectivos valores do fator CP para manejo convencional, identificados e utilizados na análise multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia das nascentes do rio Araguaia.

Quadro 17 - tipos de uso e cobertura do solo e fator CP.

Classe de cobertura e Uso	Fator CP Convencional		
	Fator C	Fator P	Fator CP
Solo Exposto/ Queimada	1	1	1
Pastagem	0,25	1	0,25
Solo Exposto - Agricultura	0,25	1	0,25
Agricultura / Grãos	0,25	1	0,25
Agricultura / Cana-de-Açúcar	0,1	1	0,1
Silvicultura / Eucalipto	0,3	1	0,3
Campo Úmido	0	1	0
Cerradão	0,00004	1	0,00004
Cerrado Denso	0,00004	1	0,00004

Cerrado Ralo	0,01035	1	0,01035
Cerrado Típico	0,0007	1	0,0007
Mata de Galeria	0,00004	1	0,00004

Fonte: Adaptado de Stein et al., (1987); Oliveira (2012); ANA (2013); Gomes et al., (2017).

Este estudo por sua vez, subsidiou a análise da relação do uso do solo/fator CP e suas resultantes nas estimativas/mapeamentos de perda de solo (por erosão laminar) da EUPS/USLE na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia. Desta forma, para cada ano da análise multitemporal de uso do solo há sua correspondente estimativa/mapeamento de perda de solos da EUPS/USLE.

A resultante da simulação da perda de solo pela EUPS/USLE para a bacia das nascentes do rio Araguaia foi apresentada em classes de perda de solo, que conforme classificação de FAO (1967) e Gomes et al. (2017), são classificadas em classes de baixa, média, alta e muito alta perda de solo, conforme demonstra o quadro 18. É importante ressaltar que a resultante da EUPS/USLE é medida em Toneladas/hectare/ano.

Quadro 18 - qualificação das classes de perda de solo [adaptado].

CLASSES DE PERDA DE SOLO	ZONA DE PERDA DE SOLO
0 – 1 ton/ha/ano	baixa
1,1 – 2 ton/ha/ano	baixa
2,1 – 5 ton/ha/ano	baixa
5,1 - 7 ton/ha/ano	baixa
7,1 – 15 ton/ha/ano	baixa
15,1 – 150 ton/ha/ano	moderada/alta
> 150 ton/ha/ano	alta/muito alta

8.4 – EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS/USLE), FATOR CP/USO DO SOLO E ESTIMATIVAS DE PERDA DE SOLO – BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

8.4.1 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (1984)

No ano de 1984 na bacia das nascentes do rio Araguaia, em virtude da alta intensidade do processo de desmatamentos, conversão antrópica das vegetações naturais e das vastas áreas com solos expostos/desmatamento (34,15% da área), foram estimadas as mais altas taxas de perda de solo considerando-se todos os anos da análise multitemporal da EUPS/USLE para esta bacia. Em consequência destes processos, o uso do solo na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia se apresentou bastante indefinido e desordenado, haja vista, as extensas áreas de solo exposto/desmatamento, ainda sem destinação ao uso antrópico.

Assim, no ano de 1984 as áreas de uso antrópico do solo se fizeram majoritárias, totalizando 69,62% da área total da bacia ou 8.749,56 hectares, como mostra o quadro 10.

Os principais tipos de uso do solo observados foram: agricultura de grãos, pecuária, solo exposto/desmatamento e queimada. Os valores dos fatores CP adotados para esses tipos de uso solo foram respectivamente 0,25; 0,25; 1; 1. A figura 30 apresenta os fatores, a resultante e espacialização da EUPS/USLE para a configuração do uso do solo deste ano.

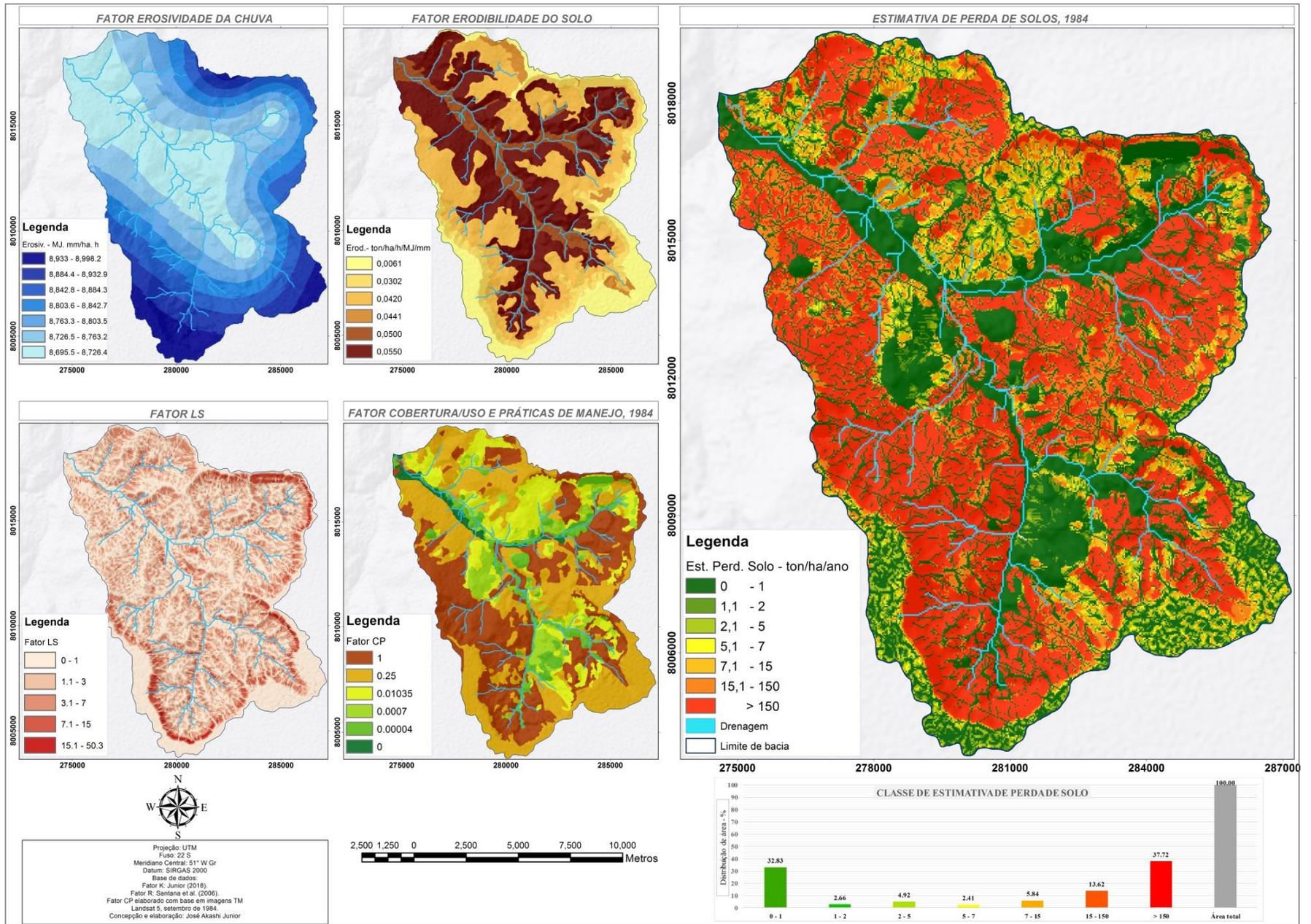


Figura 30 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 1984 - bacia nascentes rio Araguaia

O quadro 19 apresenta as classes de perda de solo, referentes à configuração do uso do solo do ano de 1984, relacionando-as as áreas que ocuparam, e as estimativas absolutas de perda de solo.

Quadro 19 - perda de solo EUPS/USLE 1984.

ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO EUPS/USLE – 1984				
Classe de Perda de Solo (ton/hectare/ano)	Área - ha	Área - %	Perda de solo (Toneladas/ano)	Perda de solo Percentual (%)
0 - 1	4.125,33	32,83	316,79	0,01
1,1 - 2	334,53	2,66	482,40	0,01
2,1 - 5	618,84	4,92	2.104,87	0,05
5,1 - 7	302,85	2,41	1.802,99	0,05
7,1 - 15	733,77	5,84	7.678,52	0,19
15,1 - 150	1.711,44	13,62	119.849,47	3,02
> 150	4.740,84	37,72	3.830.327,92	96,66
Total	12.567,60	100,00	3.962.562,97	100,00

Nota-se que a classe de perda de solo “0 - 1 ton/ha/ano”, considerada baixa, de acordo com FAO (1967) e Gomes et al. (2017), corresponde a 32,83% da área total da bacia, no entanto, foi estimada como a classe de menor perda de solo para toda a bacia. Está relacionada principalmente às áreas cobertas pelas vegetações naturais, bem como às áreas agrícolas localizadas nas porções altiplanas da bacia. As classes “1,1 – 2 ton/ha/ano e 2,1 – 5 ton/ha/ano; 5,1 - 7 ton/ha/ano; 7,1 – 15 ton/ha/ano” também se relacionam a esses ambientes. Juntas, totalizaram 48,66% da área da bacia ou 6.115,40 hectares e corresponderam a 0,32% do total da estimativa de perda de solo.

As classes de maior estimativa de perda de solos: 15 - 150 ton/ha/ano e >150 ton/ha/ano, corresponderam a 51,34% da área da bacia ou 6.452,20 hectares e foram responsáveis por 99,68% da estimativa de perda de solo total do ano de 1984. Estas se relacionaram, sobretudo, às áreas de uso antrópico localizadas na porção rebaixada e dissecada da bacia, correspondentes à Formação Botucatu.

Destaca-se a classe de perda de solo “>150 ton/ha/ano”, associada às extensas áreas queimadas, desmatadas, de solos expostos e destinadas à agropecuária, que se relacionam aos Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos. Ocupando 37,72% da área da bacia, esta classe de perda de solo foi responsável pela estimativa de 96,66% da perda de solo de toda a bacia.

Por outro lado, as áreas agrícolas dos terrenos planos nos topos da chapada, onde ocorrem Latossolos Vermelhos da Formação Cachoeirinha, foram estimadas com classes de baixa perda de solo.

8.4.2 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (1994)

No ano de 1994 o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia apresentou traços de melhor definição e ordenamento em relação ao ano de 1984, quando havia forte indefinição destes. Neste sentido, observou-se que as áreas de ‘solo exposto/desmatamento’ extensivamente presentes em 1984, estavam totalmente ocupadas/substituídas pela agropecuária no ano de 1994.

Por outro lado, em 1994, agricultura e pecuária totalizaram uma ocupação correspondente a 72,36% da área da bacia ou 9.093,92 hectares, a maior área destinada à ocupação antrópica observada na série temporal de uso do solo (1984, 1994, 2004, 2011, 2018). Consequentemente, as áreas cobertas pelas vegetações naturais foram as menores observadas em toda a série temporal de uso do solo.

Conforme ANA (2013), ambos os tipos de uso do solo: agricultura e pecuária, possuem o mesmo valor do fator CP: 0,25. É importante destacar que esses tipos de uso do solo ocuparam no ano de 1994 as áreas de solo exposto/desmatamento existentes no ano de 1984, cujo fator CP corresponde a 1. Desta forma, observou-se que a perda de solos no ano de 1994 foi aproximadamente 60,23% menor que no ano de 1984. A resultante da EUPS/USLE e sua respectiva espacialização em relação a estes fatores CP e tipos de uso do solo é demonstrada na figura 31.

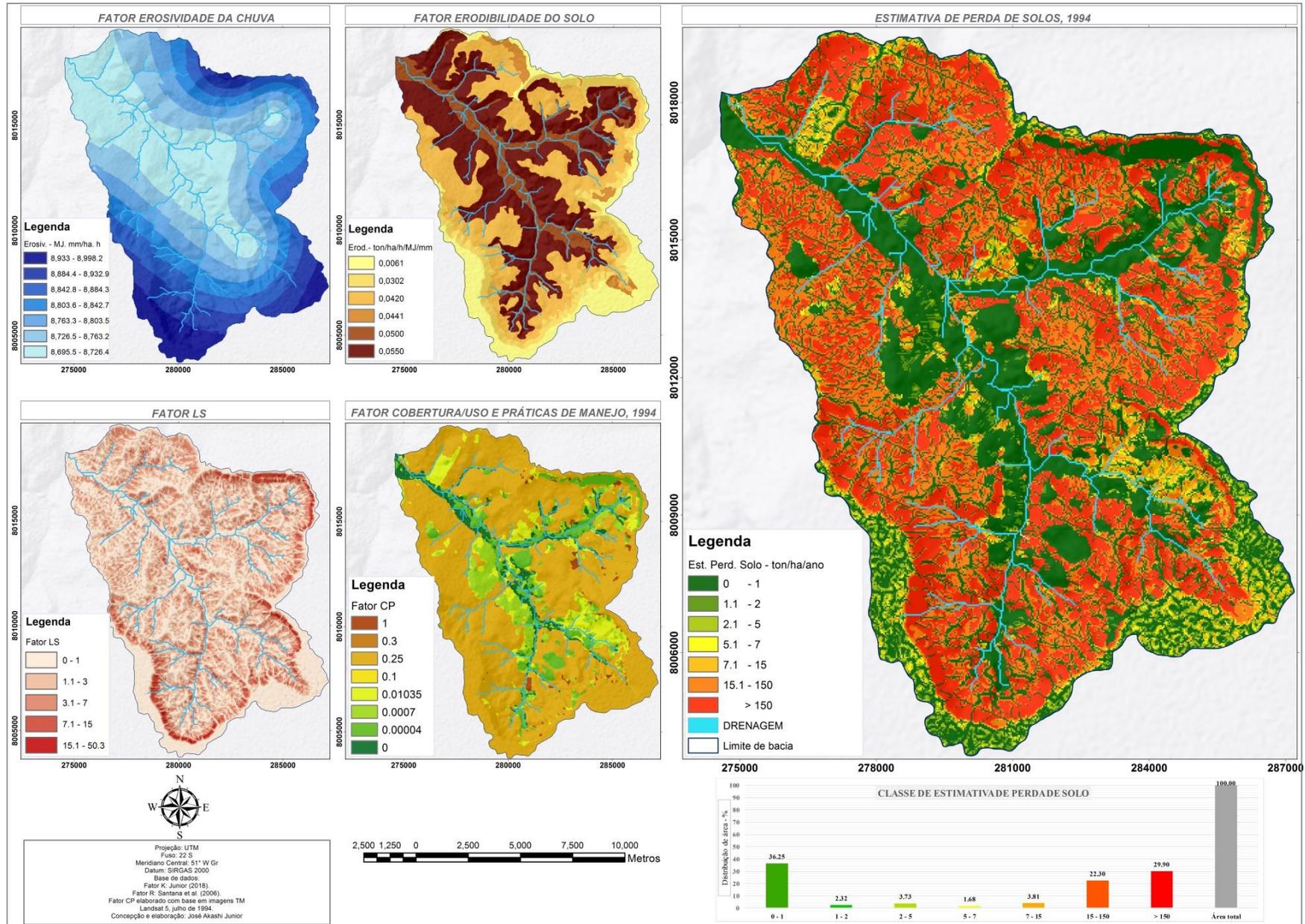


Figura 31 - Fatores EUPUS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 1994 - bacia nascentes rio Araguaia

As classes mais elevadas de perda de solo encontradas no ano de 1994 para a bacia das nascentes do rio Araguaia: 15,1 – 150 ton/ha/ano; > 150 ton/ha/ano, se relacionam sobretudo as áreas de uso antrópico. O quadro 20 apresenta estas e as demais classes de perda de solo, sua espacialização e perda de solo absoluta.

Quadro 20 - classes de perda de solo EUPS/USLE 1994.

PERDA DE SOLO EUPS/USLE – 1994				
Classe de Perda de Solo (ton/hectare/ano)	Área - ha	Área - %	Perda de solo (Toneladas/ano)	Perda de solo Percentual (%)
0 - 1	4.555,53	36,25	327,55	0,02
1,1 - 2	292,14	2,32	421,36	0,03
2,1 - 5	469,26	3,73	1.572,63	0,10
5,1 - 7	210,60	1,68	1.252,65	0,08
7,1 - 15	479,43	3,81	5.021,69	0,32
15,1 - 150	2.803,14	22,30	227.647,14	14,45
> 150	3.757,50	29,90	1.339.394,51	85,01
Total	12.567,6	100,00	1.575.637,52	100,00

As classes de maior perda de solo correlacionadas ao uso antrópico corresponderam a 52,2% da área da bacia, e foram estimadas em 99,46% da perda de solo total da bacia. É importante ressaltar que estas áreas estão integralmente relacionadas aos terrenos rebaixados e dissecados da bacia, correspondentes às áreas da Formação Botucatu.

A classe “> 150 ton/ha/ano” relacionada às máximas perdas de solo, além de relacionadas às áreas de uso antrópico estiveram relacionadas às áreas mais dissecadas da bacia, referentes a valores elevados do fator LS. Em comparação ao ano de 1984, esta classe sofreu vertiginosa redução na perda de solo, em virtude de no ano de 1994 não mais haverem áreas desmatadas/solo exposto.

Por outro lado, as classes de menor perda do solo: 0 – 1 ton/ha/ano; 1,1 – 2 ton/ha/ano; 2,1 – 5 ton/ha/ano; 5,1 - 7 ton/ha/ano; 7,1 – 15 ton/ha/ano, correlacionadas às áreas agrícolas da porção altiplana da bacia e principalmente às vegetações naturais conservadas, ocuparam 47,8% da área da bacia, e foram responsáveis por 0,54% da perda de solo total da bacia.

Estas vegetações naturais foram notadas principalmente às margens de toda a extensão do rio Araguaia e seus afluentes, nas zonas ripárias, nas baixas vertentes, fundos de vale e áreas de cabeceiras de drenagem em relevos côncavos, e foram associadas a baixos valores do fator CP.

8.4.3 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (2004)

No ano de 2004 observou-se melhor definição no ordenamento das áreas destinadas à conservação das vegetações naturais, assim como, das áreas destinadas ao uso antrópico, ambas genericamente definidas e delimitadas em conformidade aos patamares de relevos e tipos de solos. As áreas agrícolas se apresentaram majoritárias, enquanto a prática da pecuária foi restrita a áreas bastante diminutas.

Os tipos de uso antrópico do solo observados na bacia corresponderam à agricultura de grãos (64,26% da área da bacia) e pecuária (3,92% da área da bacia), e juntos totalizaram 68,18% da área total da bacia ou 8.581,16 hectares. Para a modelagem da EUPS/USLE deste ano, ambos os tipos de uso antrópico apresentam o mesmo valor do fator CP (0,25) conforme ANA (2013).

A resultante da EUPS/USLE e sua respectiva espacialização em relação a estes fatores CP e tipos de uso do solo é demonstrada na figura 32.

As áreas de ocupação antrópica se relacionaram principalmente às classes de maior perda de solo da EUPS/USLE para a bacia: 15,1 – 150 ton/ha/ano; e > 150 ton/ha/ano. Estas classes de maior perda de solo equivaleram a 47,08% da área da bacia ou 5.916,82 hectares, e foram responsáveis por 99,7% da perda de solo total da bacia, como aponta o quadro 21.

No ano de 2004 as áreas antropizadas foram moderadamente menores que em 1994, enquanto as áreas de vegetação nativa foram sutilmente maiores, como mostra o quadro 10. Neste sentido, a perda de solo total estimada para a bacia no ano de 2004 apresentou-se 15,12% menor que no ano de 1994.

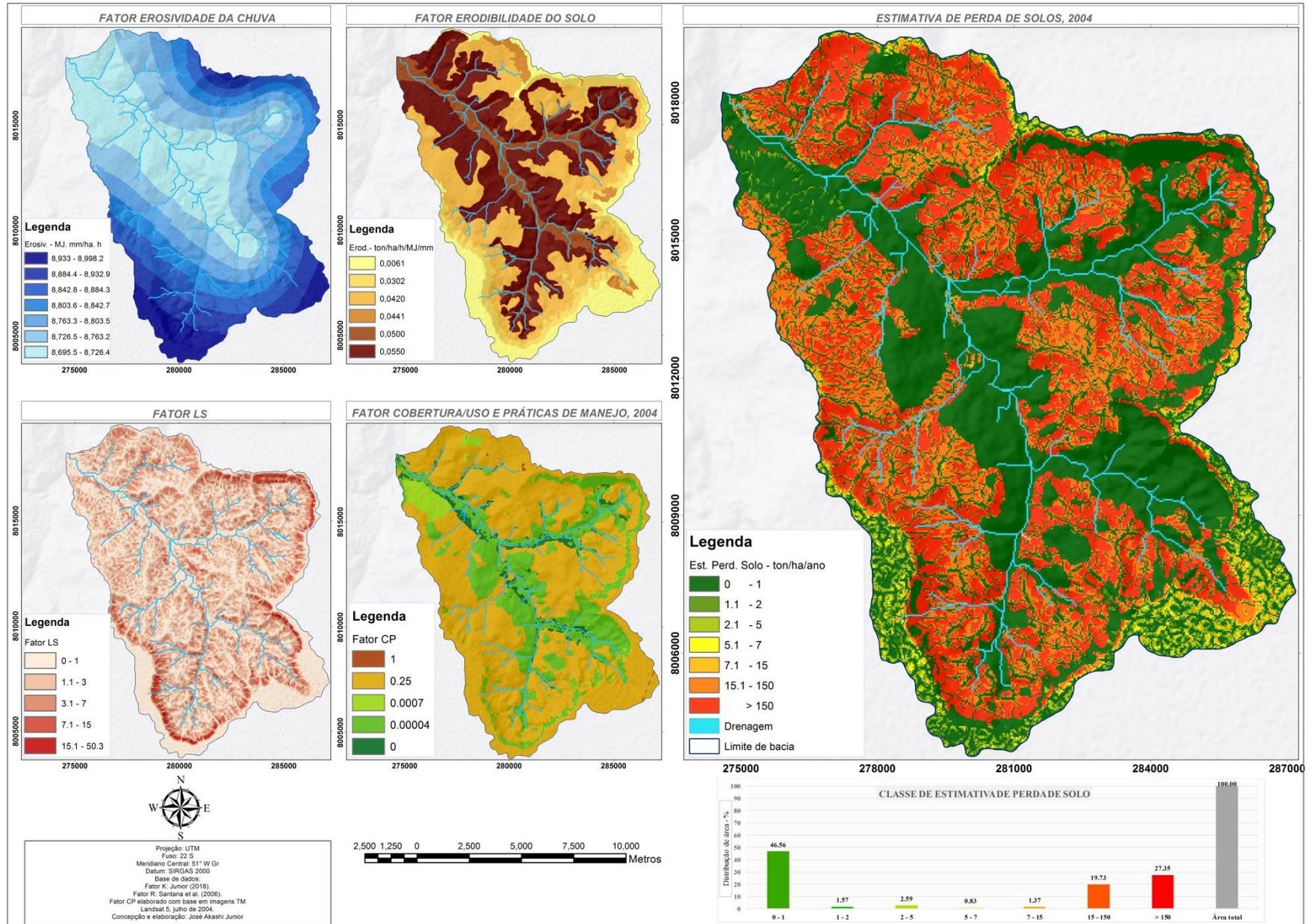


Figura 32 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 2004 - bacia nascentes rio Araguaia

Quadro 21 - perda de solo EUPS/USLE 2004.

PERDA DE SOLO EUPS/USLE – 2004				
Classe de Perda de Solo (Ton/hectare/ano)	Área - ha	Área - %	Perda de solo (Toneladas/ano)	Perda de solo Percentual (%)
0 - 1	5.852,07	46,56	261,65	0,02
1,1 - 2	196,83	1,57	288,62	0,02
2,1 - 5	325,08	2,59	1.061,98	0,08
5,1 - 7	104,22	0,83	616,20	0,05
7,1 - 15	172,80	1,37	1.799,05	0,13
15,1 - 150	2.479,41	19,73	213.039,50	15,93
> 150	3.437,19	27,35	1.120.231,90	83,77
Total	12.567,60	100,00	1.337.298,89	100,00

É possível afirmar que as classes de elevada perda de solo apresentaram perdas de solo e espacialização relativamente semelhantes nos anos de 1994 e 2004.

A partir do ano de 2004 começou-se observar ligeiro aumento da densidade e das áreas de vegetações naturais. Em consequência aumentou-se também o percentual das áreas referentes à classe de perda de solo “0 – 1 (ton/ha/ano)”.

As classes de perda de solo 1,1 – 2 ton/ha/ano e 2,1 - 5 ton/ha/ano, também associadas às vegetações naturais, apresentaram sutil redução na perda de solo em comparação ao ano de 1994. As áreas de baixa perda de solo no ano de 2004, corresponderam a 52,90% da área da bacia, e foram responsáveis por 0,3% da perda de solo total da bacia.

8.4.4 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (2014)

No ano de 2014, observou-se a continuidade do ordenamento do uso e cobertura do solo notado no ano de 2004, majoritariamente destinado ao uso agrícola e em menor proporção às vegetações naturais.

No entanto, além da agricultura de grãos e vegetações naturais, observou-se em área equivalente a 7,32% da área total da bacia ou 919,95 hectares um novo tipo de uso do solo na bacia, destinado à silvicultura de eucaliptos, substituindo e ocupando áreas destinadas anteriormente à agricultura de grãos.

No ano de 2014 a agricultura de grãos ocupava 57,97% da área total da bacia ou 7.285,44 hectares, e, somadas as áreas de uso antrópico (agricultura + silvicultura) totalizou-se uma ocupação correspondente a 65,29% da área total da bacia ou 8.205,39 hectares. O valor do fator CP adotado para as áreas de eucalipto corresponde a 0,3 e para as áreas de agricultura 0,25 (Stein et al., (1987); Oliveira (2012); ANA (2013); Gomes et al., (2017).

Neste sentido, a resultante da EUPS/USLE para os respectivos tipos de uso do solo e fator CP é apresentado na figura 33.

As classes de maior perda de solo estimadas para a bacia: 15,1 – 150 ton/ha/ano; > 150 ton/ha/ano, corresponderam, sobretudo, as áreas antropizadas (agricultura e silvicultura) localizadas na superfície rebaixada e dissecada da Formação Botucatu. Juntas, estas classes corresponderam a 44,89% da área da bacia, e foram responsáveis por 99,68% da perda de solo total da bacia, conforme aponta o quadro 22.

Observou-se similaridade entre as áreas (hectares) destinadas à ocupação antrópica nos anos de 2004 (68,18%) e 2014 (65,29%), bem como nos valores dos fatores CP relacionados ao uso antrópico, na perda de solo total da bacia, e também no comportamento das classes de perda de solo, em ambos os anos. Desta forma, a perda de solo total estimada para o ano de 2014 apresentou-se 1,54% menor que o ano de 2004.

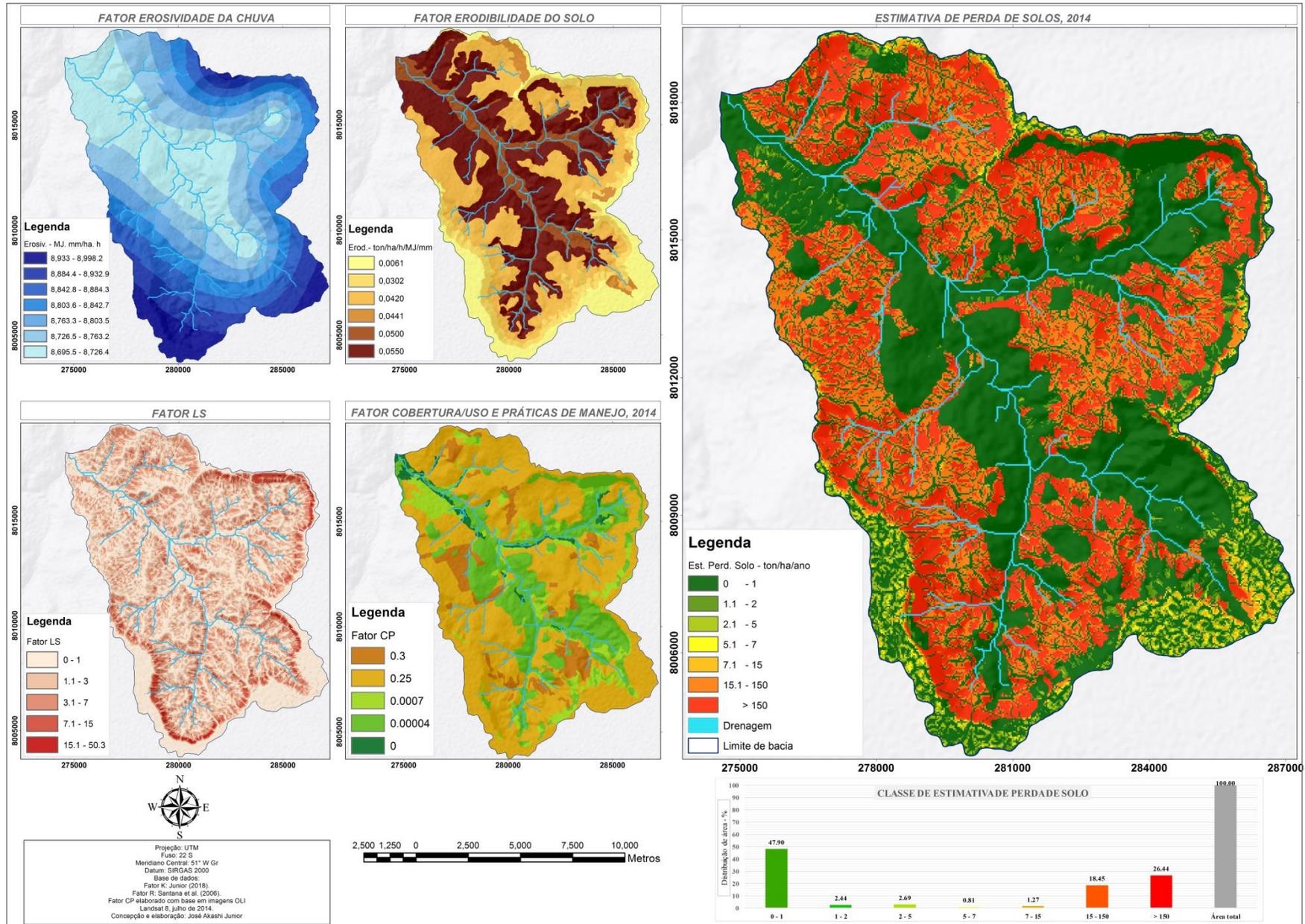


Figura 33 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 2014- bacia nascentes rio Araguaia

Quadro 22 - perda de solo EUPS/USLE 2014.

PERDA DE SOLO EUPS/USLE – 2014				
Classe de Perda de Solo (Ton/hectare/ano)	Área - ha	Área - %	Perda de solo (Toneladas/ano)	Perda de solo Percentual (%)
0 - 1	6.020,10	47,90	440,15	0,03
1,1 - 2	306,90	2,44	437,83	0,03
2,1 - 5	337,50	2,69	1.093,44	0,08
5,1 - 7	102,24	0,81	604,70	0,05
7,1 - 15	159,30	1,27	1.656,24	0,13
15,1 - 150	2.318,49	18,45	200.635,69	15,24
> 150	3.323,07	26,44	1.111.785,65	84,44
Total	12567,60	100,00	1.316.653,69	100,00

É preciso ressaltar que as áreas destinadas às vegetações naturais foram sutilmente maiores em 2014 do que em 2004. Estas totalizaram área correspondente a 34,71% da bacia ou 4.362,21 hectares. Conseqüentemente, observou-se sutil aumento das áreas referentes à classe de menor perda de solo “0 - 1 ton/ha/ano”, que correspondeu em 2014 a 47,90% da área da bacia.

É importante ressaltar que as áreas de vegetação natural não se relacionam às classes de elevada perda do solo, estas últimas relacionadas estritamente aos usos antrópicos do solo.

8.4.5 - Fator CP/uso e cobertura do solo e perda de solo (EUPS/USLE) – bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (2018)

A dinâmica do uso do solo no ano de 2018 segue o ordenamento do uso e cobertura do solo evidenciado desde o ano de 2004, quando se observou as áreas antropizadas ocupando genericamente as áreas correspondentes às Formações Geológicas Botucatu e Cachoeirinha, e as áreas de vegetação natural ocupando as áreas correspondentes à planície do rio Araguaia e as escarpas erosivas.

Considerando-se toda a série multitemporal de uso do solo, é importante destacar que no ano de 2018 verificaram-se as maiores extensões de áreas destinadas à vegetação natural, totalizando 36,55% da área da bacia.

A respeito da ocupação agrícola do ano de 2018 observou-se a introdução da cultura da cana de açúcar em áreas correspondentes a 22% do total da bacia ou

2.764,87 hectares, substituindo áreas de cultivo de grãos. Em razão da extensão das áreas de cana de açúcar e seu baixo valor do fator CP (fator CP=0,1), constatou-se significativa redução na perda de solo total da bacia.

Outro fator associado à redução da perda de solos na bacia se deu em função do aumento da densidade e das áreas de vegetação natural. Consequentemente, neste ano foi estimada a menor perda total de solo para a bacia considerando-se toda a série multitemporal de perda de solo da EUPS/USLE.

É importante novamente ressaltar que esta série de perda de solo da EUPS/USLE, adotou valores do fator CP exclusivamente relacionados ao manejo convencional. Neste sentido, em 2018 a perda de solo total foi 28,02% menor que no ano de 2014.

A resultante da EUPS/USLE para os tipos de uso e cobertura do solo e fator CP observados no ano de 2018 é apresentada na figura 34.

As classes de baixa perda de solo: 0 – 1 ton/ha/ano; 1,1 – 2 ton/ha/ano; 2,1 – 5 ton/ha/ano; 5,1 – 7 ton/ha/ano; 7,1 - 15 ton/ha/ano, relacionadas às áreas de vegetação natural e às áreas agrícolas das porções altiplanas da bacia, corresponderam a 55,78% da área total da bacia, conforme aponta o quadro 23.

Apesar da significativa redução na perda de solos do ano de 2018, as áreas de uso antrópico das porções rebaixada e dissecada da bacia mantiveram-se relacionadas às classes de elevada perda de solo (15,1 – 150 ton/ha/ano; >150 ton/ha/ano). Estas classes corresponderam a 44,22% da área total da bacia e estimadas em 99,16% da perda de solo total da bacia.

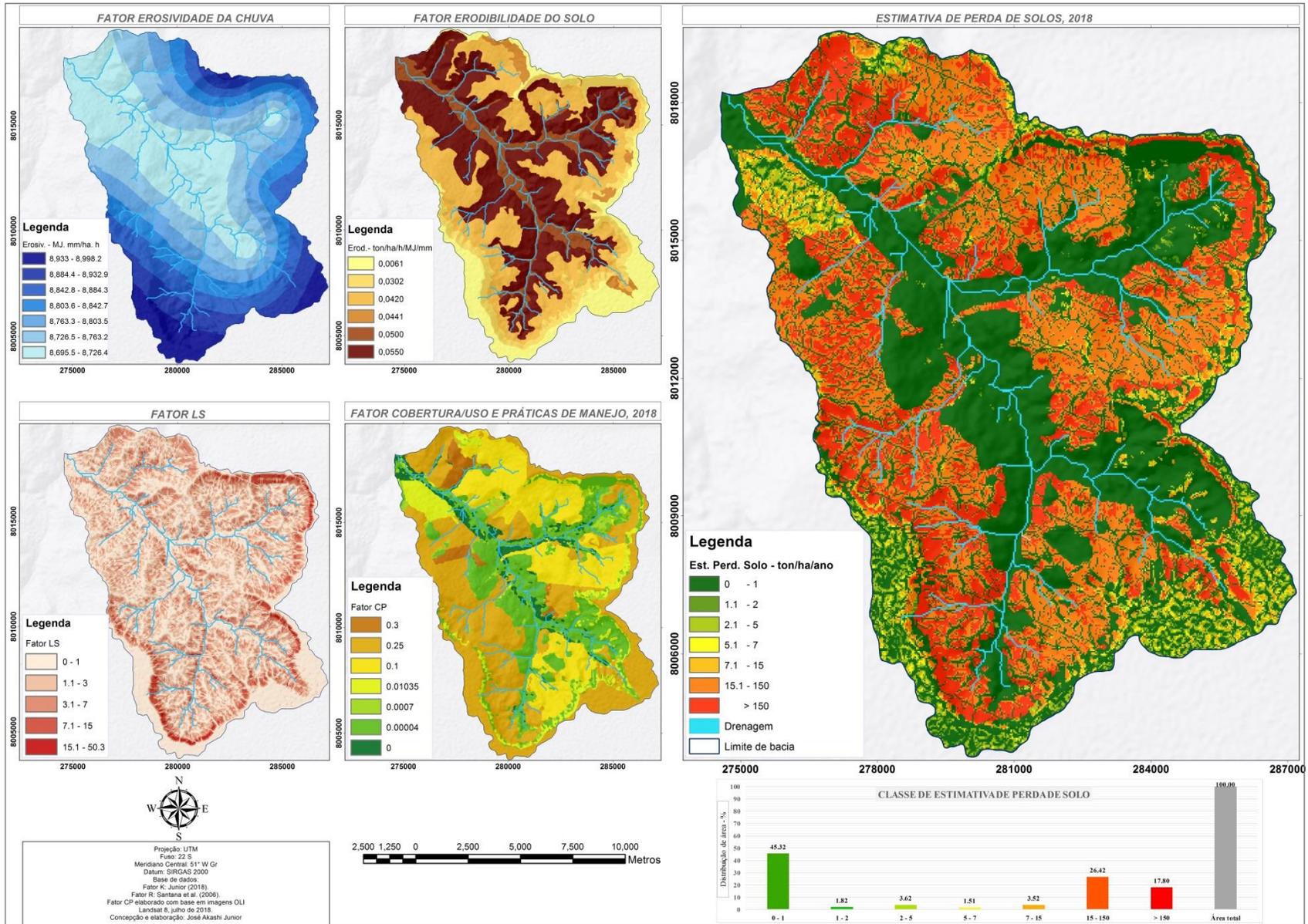


Figura 34 - Fatores EUPS/USLE e Estimativa de Perda de Solo 2018- bacia nascentes rio Araguaia.

É ainda possível afirmar que a inserção da cana de açúcar no uso e ocupação da bacia em 2018 provocou expressiva mudança no comportamento das classes de elevada perda de solo. Neste sentido, a classe “15,1 - 150 ton/ha/ano” se apresentou majoritária na contribuição de perda de solos da bacia, ao contrário de todos os anos da série multitemporal de perda de solos, onde a classe “> 150 ton/ha/ano” correspondeu continuamente à maior perda de solos da bacia.

Quadro 23 - perda de solo EUPS/USLE 2018.

PERDA DE SOLO EUPS/USLE – 2018				
Classe de Perda de Solo (Ton/hectare/ano)	Área - ha	Área - %	Perda de solo (Toneladas/ano)	Perda de solo Percentual (%)
0 - 1	5.695,47	45,32	280,24	0,03
1,1 - 2	229,14	1,82	335,47	0,04
2,1 - 5	454,41	3,62	1.518,60	0,16
5,1 - 7	189,45	1,51	1.124,93	0,12
7,1 - 15	442,44	3,52	4.704,12	0,50
15,1 - 150	3.319,74	26,42	242.679,68	25,61
> 150	2.236,95	17,80	696.974,24	73,55
Total	12.567,60	100,00	947.617,27	100,00

8.5 - PANORAMA DA PERDA DE SOLO (1984, 1994, 2004, 2014, 2018) – BACIA HIDROGRÁFICA DAS NASCENTES DO RIO ARAGUAIA

A hipótese inicial desta pesquisa pressupôs que ao longo dos anos analisados as áreas antrópicas sofreriam gradativa expansão, sobretudo, avançando sobre as áreas de vegetação natural, e conseqüentemente corresponderiam a gradativo aumento na perda de solo da bacia.

Considerando que no ano de 1984 foram verificadas as maiores extensões de áreas desmatadas e de solos expostos, e conseqüentemente as maiores estimativas de perdas de solo, conclui-se a partir de então que a evolução do uso do solo na bacia das nascentes do Araguaia no período em questão, não avançou sobre as áreas de vegetação natural remanescentes, bem como se verificou diminuição gradativa na estimativa de perda do solo.

Neste sentido, é possível afirmar ao longo do período analisado, que as áreas destinadas à vegetação natural ocuparam continuamente as planícies do rio Araguaia e

as áreas de escarpas erosivas. Por outro lado, as áreas antropizadas genericamente ocuparam as porções altiplanas da bacia e principalmente as superfícies rebaixadas e dissecadas da Formação Botucatu, estas últimas bastantes críticas em relação à perda de solos.

De modo geral, a análise da série multitemporal de uso e cobertura do solo apontou que as formas de uso antrópico do solo ocuparam em média 67,19% da área da bacia, enquanto as áreas de vegetação natural ocuparam 32,80% da área da bacia.

É possível afirmar que o ordenamento e definição do uso e cobertura do solo na bacia a partir do ano de 2004, o aumento das áreas de vegetação natural, e modalidades de uso do solo correspondentes a baixos valores do fator CP, contribuíram para a diminuição das estimativas de perda de solo na bacia ao longo do período analisado.

O mapa correspondente ao Potencial Natural a Erosão (figura 29), corresponde ao cenário de máxima estimativa de perda de solos para a bacia das nascentes do Araguaia. Este considera o produto dos fatores da EUPS/USLE: RKLS, em seus valores absolutos e considera o fator CP igual a 1, ou seja, ausência total de cobertura do solo ou solo exposto. Este produto serve como referência de perda de solo máxima para a bacia e estimou uma perda de solos total para a bacia na ordem de 8.727.672,69 toneladas/ano.

O quadro 24 apresenta uma síntese da análise multitemporal de perda de solo estimada pela EUPS/USLE para a bacia das nascentes do rio Araguaia. Reitera-se que esta análise considerou que o uso do solo ocorreu sob práticas de manejo convencional.

Destaca-se ao longo dos anos analisados a classe “>150 ton/ha/ano”, sucessivamente majoritária nas estimativas de perda de solos, correspondendo em média a 84,68% da perda de solos em cada ano. Esta classe de perda de solos esteve continuamente relacionada às áreas antropizadas localizadas nas superfícies rebaixadas e dissecadas da Formação Botucatu e ocuparam em média área correspondente a 27,87% da bacia.

Quadro 24 - análise temporal de perda de solo (1984, 1994, 2004, 2014, 2018).

ANO	ÁREA/ PERDA DE SOLO	CLASSES DE PERDA DE SOLO							TOTAIS
		0 – 1 ton/ha/ano	1,1 – 2 ton/ha/ano	2,1 – 5 ton/ha/ano	5,1 – 7 ton/ha/ano	7,1 - 15 ton/ha/ano	15,1 – 150 ton/ha/ano	> 150 ton/ha/ano	
Potencial Natural Erosão (PNE)	ÁREA BACIA (%)	22,13 %	0,16 %	0,62 %	0,55 %	1,99 %	6,66 %	67,90 %	100
	HECTARES (ha)	2.780,26 ha	20 ha	78,09 ha	68,72 ha	250,30 ha	836,31 ha	8.531,93 ha	12.567,6 ha
	PERDA SOLO (ton/ano)	9,66	30	280,98	412,89	2.675,05	57.390,74	8.666.873,36	8.727.672,69
1984	ÁREA BACIA (%)	32,83%	2,66%	4,92%	2,41%	5,84%	13,62%	37,72%	100
	HECTARES (ha)	4.125,33 ha	334,53 ha	618,84 ha	302,85 ha	733,77 ha	1.711,44 ha	4.740,84 ha	12.567,6 ha
	PERDA SOLO (ton/ano)	316,79	482,40	2.104,87	1.802,99	7.678,52	119.849,47	3.830.327,92	3.962.562,97
1994	ÁREA BACIA (%)	36,25 %	2,32 %	3,73 %	1,68 %	3,81 %	22,30 %	29,90 %	100
	HECTARES (ha)	4.555,53 ha	292,14 ha	469,26 ha	210,60 ha	479,43 ha	2.803,14 ha	3.757,50 ha	12.567,6 ha
	PERDA SOLO (ton/ano)	327,55	421,36	1.572,63	1.252,65	5.021,69	227.647,14	1.339.394,51	1.575.637,52
2004	ÁREA BACIA (%)	46,56 %	1,57 %	2,59 %	0,83 %	1,37 %	19,73 %	27,35 %	100
	HECTARES (ha)	5.852,07 ha	196,83 ha	325,08 ha	104,22 ha	172,80 ha	2.479,41 ha	3.437,19 ha	12.567,6 ha
	PERDA SOLO (ton/ano)	261,65	288,62	1.061,98	616,20	1.799,05	213.039,50	1.120.231,90	1.337.298,89
2014	ÁREA BACIA (%)	47,90 %	2,44 %	2,69 %	0,81 %	1,27 %	18,45 %	26,44 %	100
	HECTARES (ha)	6.020,10 ha	306,90 ha	337,50 ha	102,24 ha	159,30 ha	2.318,49 ha	3.323,07 ha	12.567,6 ha
	PERDA SOLO (ton/ano)	440,15	437,83	1.093,44	604,70	1.656,24	200.635,69	1.111.785,65	1.316.653,69
2018	ÁREA BACIA (%)	45,32 %	1,82 %	3,62 %	1,51 %	3,52 %	26,42 %	17,80 %	100
	HECTARES (ha)	5.695,47 ha	229,14 ha	454,41 ha	189,45 ha	442,44 ha	3.319,74 ha	2.236,95 ha	12.567,6 ha
	PERDA SOLO (ton/ano)	280,24	335,47	1.518,60	1.124,93	4.704,12	242.679,68	696.974,24	947.617,27

A outra classe de elevada perda de solo “15 – 150 ton/ha/ano”, também relacionada às áreas antropizadas das superfícies rebaixadas e dissecadas da Formação Botucatu, juntamente da classe “> 150 ton/ha/ano”, constituíram continuamente a quase totalidade da perda de solos da bacia, considerando-se os anos analisados. Isoladamente, correspondeu em média a 14,84% da perda de solos da bacia e ocupação equivalente a 20,1% da área total da bacia.

Em sentido oposto, a classe “0 - 1 ton/ha/ano” constituiu-se continuamente na classe de menor estimativa de perda de solos, constantemente relacionada a grandes extensões territoriais da bacia. Os ambientes relacionados a esta classe correspondem às vegetações ripárias da planície do rio Araguaia, bem como às áreas antrópicas dos terrenos altiplanos da bacia.

É importante destacar a partir do ano de 2004 a expansão das áreas da bacia correspondentes a esta classe, quando passaram a corresponder em média a 46,59% da área da bacia. O aumento dessas áreas se relaciona principalmente à ampliação e adensamento das áreas de vegetação natural.

As demais classes de baixa perda de solo: 1,1 – 2 ton/ha/ano; 2,1 – 5 ton/ha/ano; 5,1 – 7 ton/ha/ano; 7,1 – 15 ton/ha/ano, mantiveram suas áreas e estimativas de perda de solo relativamente estáveis ao longo da análise multitemporal da EUPS/USLE.

8.6 - SIMULAÇÃO/MODELAGEM (EUPS/USLE) DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA (PPA) - MANEJO CONSERVACIONISTA – REFERENTE AO USO DO SOLO DO ANO DE 2018

O Programa Produtor de Água (PPA) da Agência Nacional de Águas (ANA) visa à recuperação e proteção de recursos hídricos em bacias hidrográficas estratégicas. O PPA é direcionado às propriedades rurais e tem como principal objetivo a redução da erosão e do assoreamento através da implementação e gerenciamento de práticas de conservação dos solos de forma a proporcionar o aumento da qualidade e a tornar mais regular a oferta da água (ANA, 2013).

Tais práticas se relacionam à substituição de manejos convencionais do uso do solo, por manejos conservacionistas do uso do solo, tais como, plantio direto, plantio em nível, plantio em faixas, terraços, rotação de culturas, consórcio de culturas, entre outros. Estes, na Equação Universal de Perda de Solos, se relacionam diretamente ao fator CP, e conforme já abordado, quanto menor o valor deste fator, menor a perda de solo.

Assim, a simulação/modelagem (EUPS/USLE) da implementação do Programa Produtor de Água (Modalidade conservação de solo) na bacia das nascentes do rio Araguaia, foi realizada especificamente para o mapeamento de uso do solo do ano de 2018, em virtude de sua contemporaneidade. Desta forma, a modelagem de cenário conservacionista a partir desta temporalidade visa apoiar ações futuras no manejo hidrossedimentar desta bacia.

Para esta simulação, inicialmente considerou-se que os tipos de uso do solo/fator CP do ano de 2018 (agricultura de grãos, agricultura de cana de açúcar e silvicultura de eucalipto) ocorreram sob práticas de manejo convencional, conforme demonstra o mapa da estimativa de perda de solos de 2018 (figura 34).

Em seguida, para a simulação do PPA (manejo conservacionista) através da EUPS/USLE, recorreu-se à figura 3, que corresponde à Tabela de Valores do Fator CP para manejos convencional e conservacionista, oriunda do Manual Operativo do Programa Produtor de Água (ANA, 2013).

Neste sentido, para a simulação do PPA nesta bacia em conformidade à ANA (2013), adotaram-se para os tipos de uso do solo observados no ano de 2018, valores do fator CP - manejo conservacionista - mais representativos na redução da perda de solo (baixos valores do fator CP), conforme demonstra o quadro 25.

Quadro 25 - tipos de uso do solo 2018 e fatores CP convencional e conservacionista. Fonte: ANA (2013)

USO DO SOLO 2018 manejo convencional	Fator CP manejo convencional	USO DO SOLO 2018 manejo conservacionista	Fator CP manejo conservacionista
Agricultura grãos	0,25	Agricultura grãos (Plantio direto)	0,01
Agricultura cana de açúcar	0,1	Agricultura cana de açúcar (Terraços)	0,01
Silvicultura eucalipto	0,3	Silvicultura eucalipto (Reflorestamento)	0,05

A resultante da simulação da implementação do PPA (manejo conservacionista) para a bacia das nascentes do rio Araguaia referente ao ano de 2018 (figura 35) decorreu numa estimativa total de perda de solos 90,32% menor que o cenário do manejo convencional deste mesmo ano.

Destaca-se na simulação do PPA (2018) pela EUPS/USLE, que as classes de baixa perda de solo: 0 - 1 ton/ha/ano; 1,1 - 2 ton/ha/ano; 2,1 - 5 ton/ha/ano; 5,1 - 7 ton/ha/ano, se fizeram absolutas na bacia, correspondendo a 83,83% da área da bacia e responsáveis por 32,41% da estimativa total de perda de solo da bacia, conforme demonstra o quadro 26.

É importante salientar que em todos os anos da série multitemporal de perda de solos EUPS/USLE (1984, 1994, 2004, 2014, 2018), estas classes de perda de solo estiveram exclusivamente relacionadas às áreas de vegetação natural e às áreas agrícolas das porções altiplanas da bacia. Neste sentido, destaca-se que exclusivamente na simulação do PPA (2018) (cenário conservacionista), amplas áreas de uso antrópico das porções dissecadas e rebaixadas da bacia, foram relacionadas às classes de baixa perda de solo.

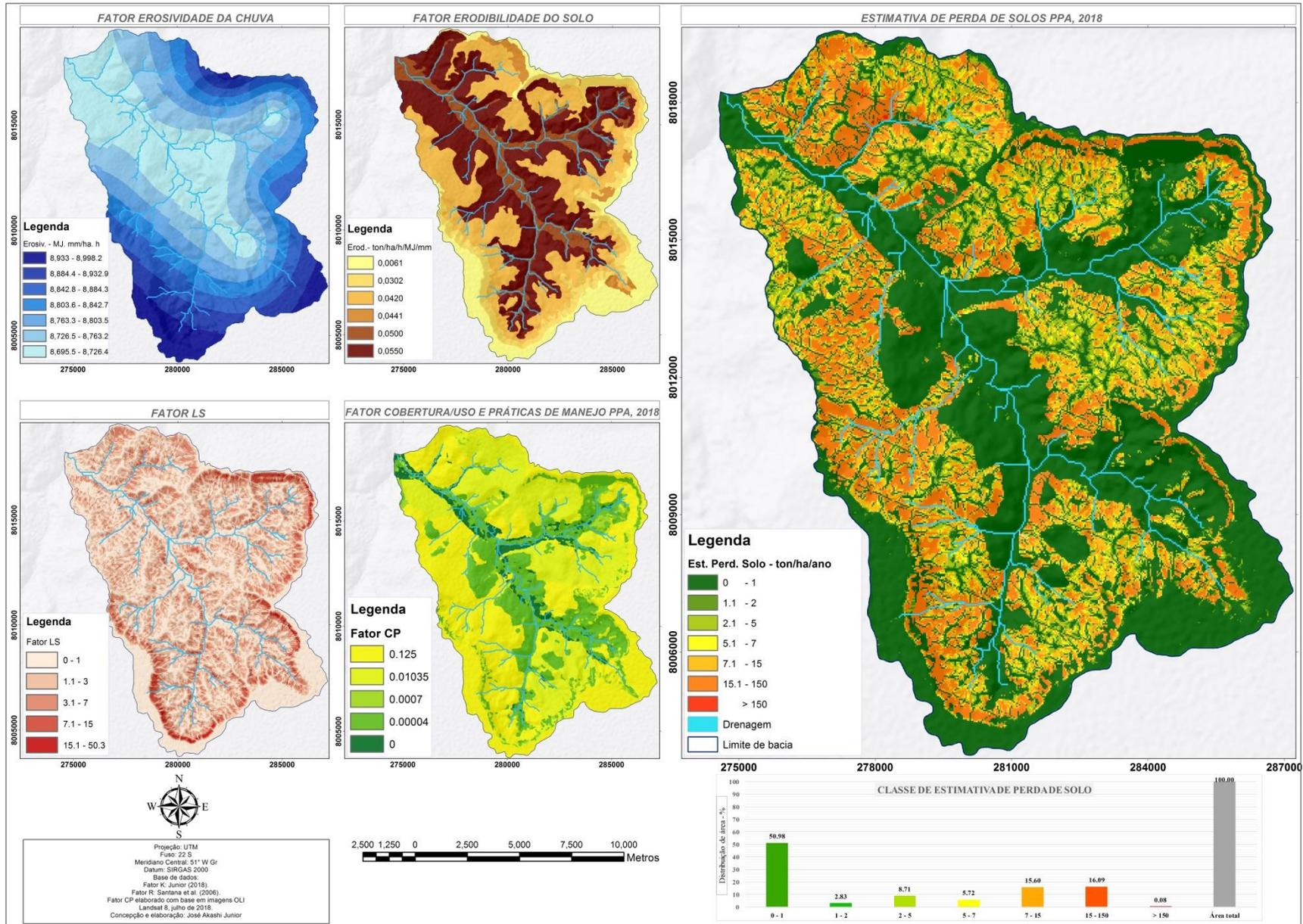


Figura 35 – Modelagem PPA (EUPS/USLE) 2018 e Estimativa de Perda de Solo - bacia nascentes rio Araguaia

Quadro 26 - simulação PPA – classes de perda de solo EUPS/USLE 2018.

SIMULAÇÃO PPA – ESTIMATIVAS DE PERDA DE SOLO EUPS/USLE (2018)				
Classe de Perda de Solo (Ton/hectare/ano)	Área - ha	Área - %	Perda de solo (Toneladas/ano)	Perda de solo Percentual (%)
0 - 1	6.406,65	50,98	470,22	0,51
1,1 - 2	355,50	2,83	524,47	0,57
2,1 - 5	1.094,40	8,71	3.855,77	4,21
5,1 - 7	719,01	5,72	4.293,51	4,68
7,1 - 15	1.959,93	15,60	20.638,55	22,51
15,1 - 150	2.022,03	16,09	60.024,87	65,46
> 150	10,08	0,08	1.885,62	2,06
Total	12.567,60	100,00	91.693,01	100,00

Outro fato notório na simulação/modelagem do PPA é a predominância absoluta da classe “0 - 1 ton/ha/ano” na superfície altiplana da bacia, correspondente aos Latossolos Vermelhos da Formação Cachoeirinha. É importante observar que mesmo nesta região predominantemente plana, as práticas de manejo conservacionista foram bastante eficientes na minimização da perda de solo.

Ressalta-se na simulação/modelagem do PPA para a bacia das nascentes do Araguaia a expressiva redução nas estimativas de perda de solos da classe “> 150 ton/ha/ano”, podendo comparar suas estimativas às classes de baixa perda de solo. É importante destacar que sob o manejo convencional, esta classe continuamente esteve associada a elevadíssimas estimativas de perda de solo, em média 84,68% dos totais da bacia.

Nesta simulação do PPA, nas áreas antropizadas da superfície pedimentada da bacia ocorreram as maiores estimativas de perda de solo, podendo-se atribuir à classe “15 - 150 ton/ha/ano” a maior contribuição da perda de solos.

No entanto, nestas áreas antropizadas de relevos planos a suave ondulados cobertos por Latossolos Vermelho-amarelo e Neossolos Quartzarênicos Órticos oriundos da Formação Botucatu, estimou-se enorme redução nas taxas de perdas de solo.

8.6.1 – Simulação/modelagem do PPA (2018) nas propriedades rurais da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia

Dentre seus princípios, o PPA parte da pressuposição que o abatimento da erosão na propriedade rural é proporcionalmente correspondente ao abatimento da erosão na bacia hidrográfica (CHAVES, 2004a).

Neste sentido, a atuação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério Público do Estado de Goiás (MP-GO) na proteção e conservação do rio Araguaia resultaram, dentre outros, no programa de proteção de suas nascentes, denominado Mapeando para Proteger. Este permitiu a realização do Cadastro Ambiental Rural (CAR), o levantamento fundiário e o mapeamento das propriedades rurais da região das nascentes do rio Araguaia (Agência Nacional das Águas, 2010).

O mapeamento fundiário da bacia hidrográfica do rio Araguaia possibilitou à presente pesquisa, a análise da perda de solos em escala de propriedade rural, conforme preconiza o PPA. Dentre outros, foi possível identificar na bacia as propriedades rurais com maior ou menor estimativa de perda de solo, tanto nos cenários convencional quanto conservacionista.

O mapeamento das propriedades rurais da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia (figura 36) aponta um total de nove propriedades, total e parcialmente inseridas nos limites estabelecidos para esta bacia. Em média possuem áreas de 1.417,83 hectares. A propriedade rural de menor e maior área possuem 95,47 e 4.956,37 hectares respectivamente.

O quadro 27 relaciona as áreas das propriedades rurais na bacia das nascentes do rio Araguaia às estimativas de perda de solo para o ano de 2018 nos cenários convencional e conservacionista. A figura 37 ilustra os referidos cenários.

Em média cada propriedade rural da bacia das nascentes do rio Araguaia reduziu em 87,25% as estimativas de perda de solo, comparando-se o cenário conservacionista (PPA – EUPS/USLE) ao convencional.

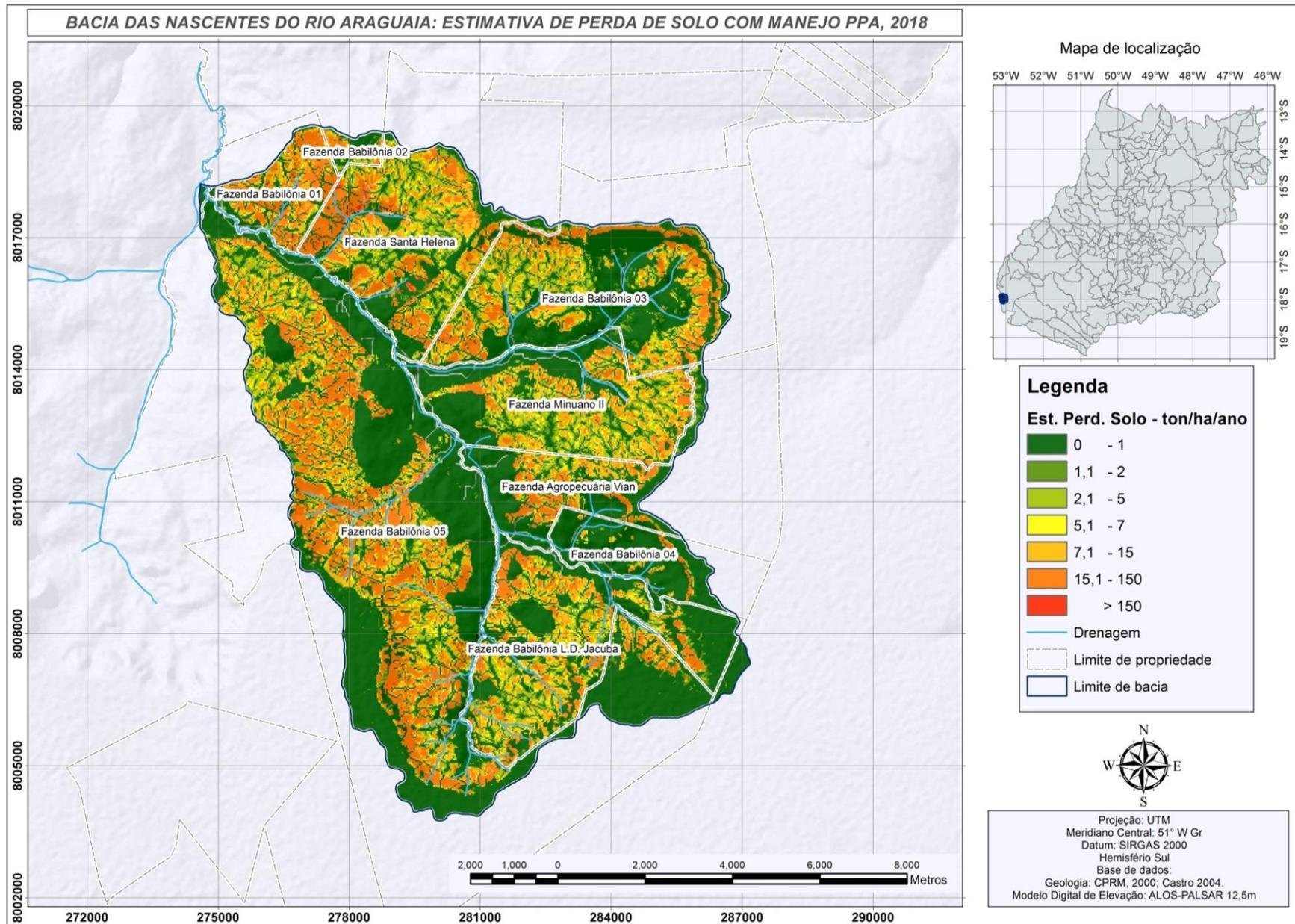


Figura 36 - Perda de solos PPA e propriedades rurais - bacia nascentes do Araguaia

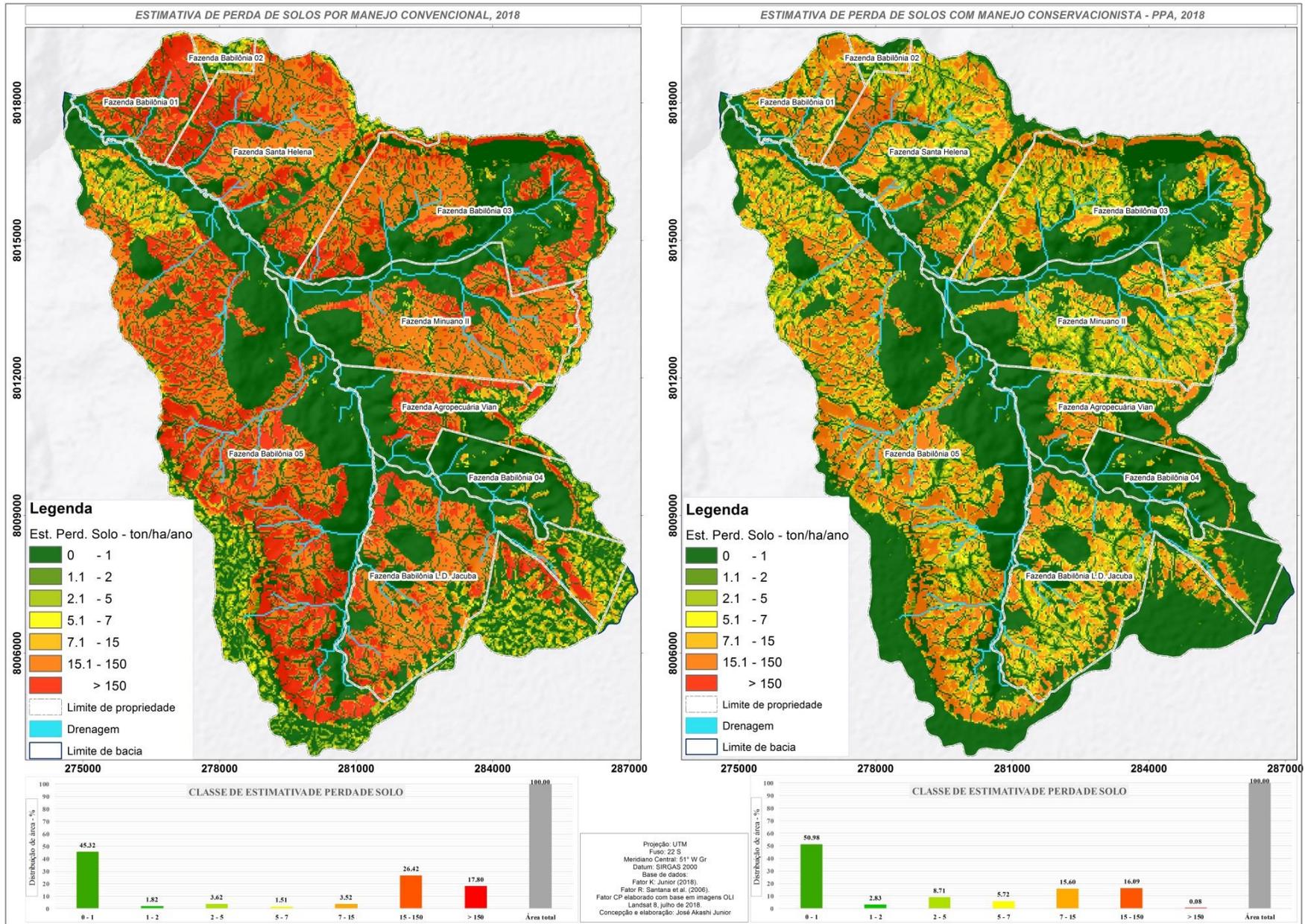


Figura 37. Perda de solo (uso do solo 2018) propriedades rurais - bacia nascentes do rio Araguaia: convencional X PPA.

Quadro 27 - Estimativa de perda de solo EUPS/USLE 2018 das propriedades rurais da bacia das nascentes do Araguaia: manejo convencional e conservacionista (PPA).

PROPRIEDADE	ÁREA (ha)	ÁREA (%) na bacia	Estimativa Anual Perda Solo - ton/ha/ano (CONVENCIONAL)	Estimativa Anual Perda Solo - ton/ha/ano (PPA)	% de abatimento erosão (CONVENCIONAL/ PPA)
Fazenda Babilônia 05	4.903,35	39,02	406.021,55	36.454,46	91,02
Fazenda Santa Helena	1.394,28	11,09	127.606,62	16.272,47	87,24
Fazenda Babilônia 03	1.711,00	13,61	126.866,92	10.329,47	91,85
Fazenda Babilônia Jacuba	1.515,12	12,06	93.207,75	9.362,18	89,95
Fazenda Babilônia 01	439,98	3,50	79.442,81	6.926,21	91,28
Fazenda Minuano II	1.311,84	10,44	66.713,64	6.612,13	90,08
Fazenda Agropecuária Vian	727,43	5,79	41.949,42	4.447,62	89,39
Fazenda Babilônia 04	470,15	3,74	3.491,66	694,77	80,10
Fazenda Babilônia 02	94,44	0,75	2.316,13	594,20	74,34
Área / Estimativa total	12.567,60	100,00	947.616,51	91.693,50	90,32

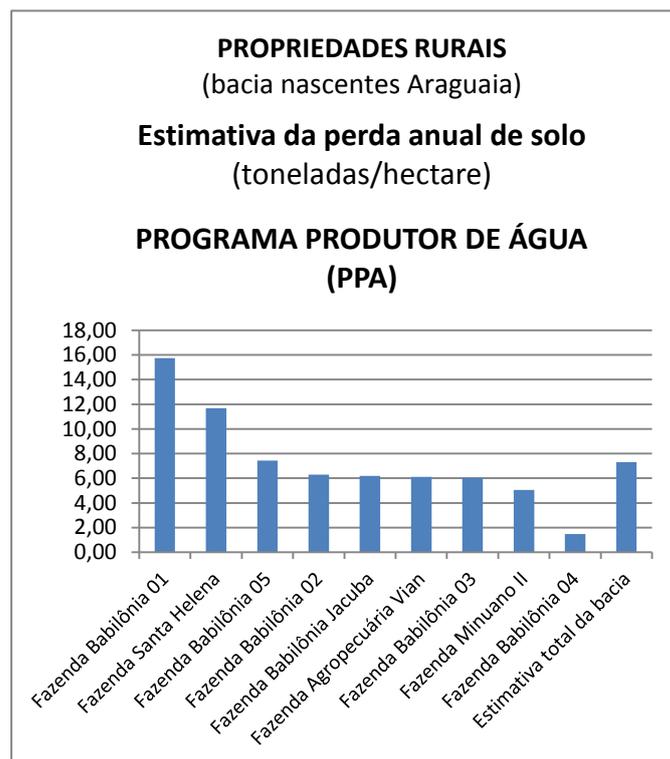
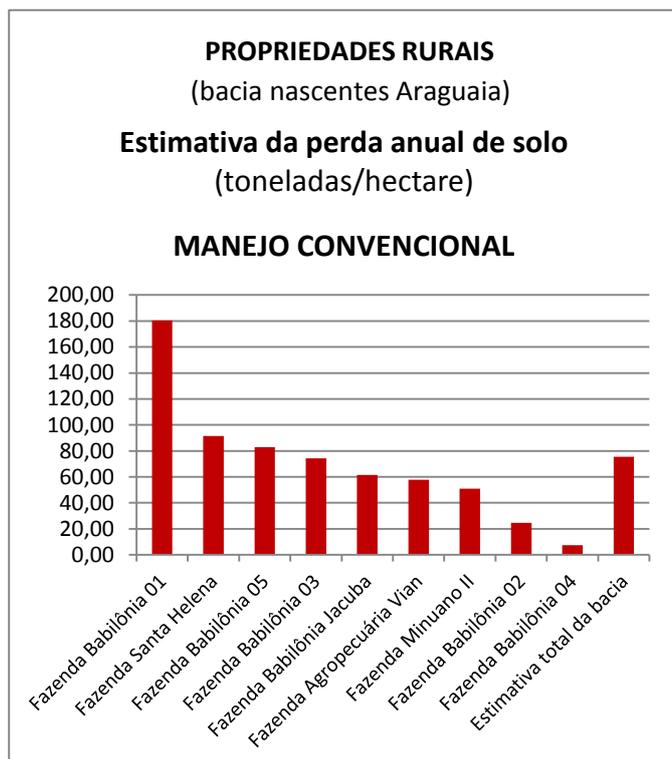
De modo geral, tanto para o cenário convencional quanto para o conservacionista, as estimativas de perda de solo nas propriedades rurais da bacia das nascentes do Araguaia apresentaram proporcionalidade quanto à área de cada propriedade, ou seja, quanto maior a área maior a perda de solo e vice-versa.

Assim, observou-se que a Fazenda Babilônia 5, a maior propriedade rural da bacia (4.903,35 ha), que corresponde à totalidade da porção mato-grossense da bacia, apresentou as maiores estimativas de perdas de solo, tanto nos cenários convencional e conservacionista. Ressalta-se nesta propriedade rural a identificação do uso do solo predominantemente destinado à agricultura de grãos associado a relevos mais suavizados.

Conforme o quadro 27, as duas únicas exceções quanto à proporcionalidade da área das propriedades rurais e da perda de solo, foram observadas nas fazendas vizinhas, Santa Helena e Babilônia 1, que corresponderam respectivamente a 2ª e 5ª maiores perdas de solo da bacia, tanto nos cenários convencional e conservacionista.

Este fato pode estar relacionado aos relevos mais acentuados combinados aos Neossolos Quartzarênicos Órticos, uso extensivo do solo e poucas áreas de vegetação natural.

No entanto, considerando a relação de perda anual de solos por hectare (toneladas anuais/hectare), a fazenda Babilônia 1 apresentou o cenário mais crítico de toda a bacia, seguida da fazenda Santa Helena, como demonstram os gráficos abaixo.



É ainda importante destacar a respeito das elevadas estimativas de perda de solo da fazenda Santa Helena, que a agricultura de cana de açúcar correspondeu à sua principal forma de uso do solo (baixo valor do fator CP), e desta forma, atribui-se as suas elevadas estimativas de perda de solo a valores mais elevados do fator LS, ou seja, aos seus relevos mais acentuados.

As fazendas Babilônia 3, Babilônia Jacuba e Minuano II, também apresentaram predominância da agricultura de cana de açúcar como forma de uso do solo e áreas relativamente semelhantes. As duas primeiras apresentam maiores estimativas de perda de solo, também em virtude de relevos mais acentuados (valores maiores do fator LS).

Por outro lado, a fazenda Babilônia 4 apresentou as menores estimativas de perda de solo em ambos os cenários, em virtude de sua área ser destinada quase que exclusivamente à vegetação natural.

As estimativas de perda de solo da bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia, estão diretamente relacionadas à exclusividade das monoculturas extensivas como forma de uso do solo.

Desta forma, não se identificou no conjunto das propriedades rurais desta bacia formas de agricultura policulturais, como a permacultura, a agroecologia, as agroflorestas e outras, que em tese, poderiam contribuir para menores perdas de solo e minimização de outros impactos ambientais.

Por fim, a figura 38 apresenta a espacialização da evolução das estimativas de perda de solo (EUPS/USLE) da bacia das nascentes do rio Araguaia correspondente à dinâmica do uso do solo. É notório o impacto da simulação do Programa Produtor de Água (PPA) na minimização da perda de solos desta bacia.

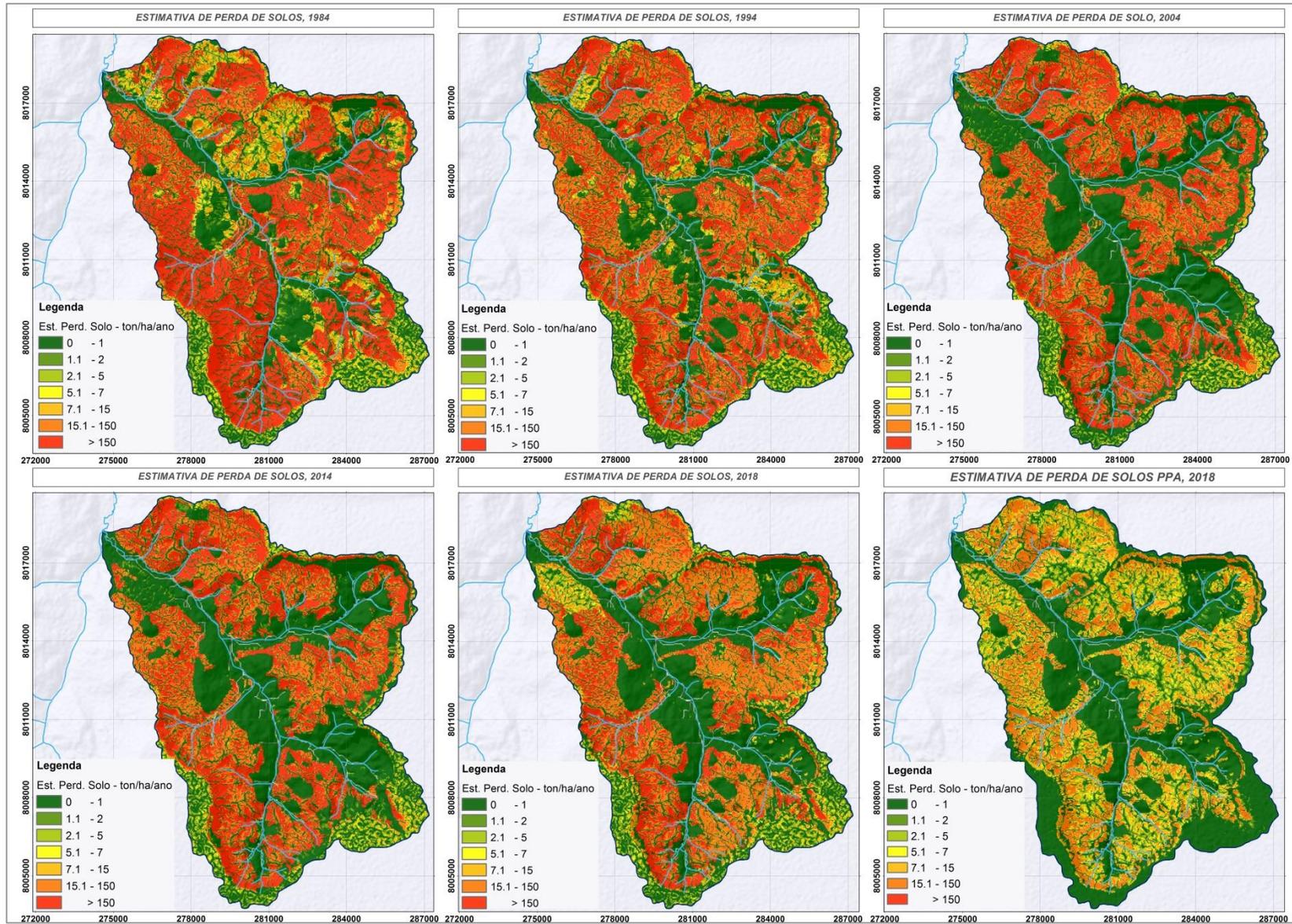


Figura 38 - Evolução das estimativas de perda de solo (1984, 1994, 200, 2014, 2018)- bacia nascentes do Araguaia

9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. De modo geral, observou-se ao longo da série multitemporal de perda de solo (1984, 1994, 2004, 2014, 2018) da bacia das nascentes do rio Araguaia, que a progressiva consolidação e definição do ordenamento do uso e cobertura do solo, resultou em gradativa redução na perda de solos.

2. Este trabalho demonstrou através de modelagem (EUPS/USLE) a extraordinária eficiência do Programa Produtor de Água (PPA) no gerenciamento conservacionista hidrossedimentar da bacia das nascentes do rio Araguaia. Em virtude da elevadíssima redução nas estimativas de perda de solo, é possível afirmar que o PPA consiste num ponto de convergência entre os interesses agrícolas assim como aos interesses conservacionistas.

A espacialização do PPA demonstra a importância e/ou necessidade do gerenciamento conservacionista de bacias hidrográficas. Destaca-se na bacia das nascentes do Araguaia a ampla redução na perda de solos na região das superfícies rebaixadas e dissecadas (pedimento) onde predominam os arenosos Latossolos Vermelho-amarelos e os Neossolos Quartzarênicos Órticos, provenientes da Formação Botucatu.

A simulação do PPA ainda demonstrou sua eficiência na redução de perda de solos mesmo em áreas de baixo potencial à erosão, como nas porções altiplanas da bacia, onde predominam os Latossolos Vermelhos da Formação Cachoeirinha.

No entanto, é preciso destacar ao longo do período em análise, a expansão das áreas correspondentes à vegetação natural, sobretudo, as vegetações ripárias do rio Araguaia e seus afluentes. Estas apresentam o caráter de zona-tampão, favorecendo a minimização da deposição de sedimentos no leito do rio, além de sua extensa continuidade na forma de corredores ecológicos naturais.

Esta pesquisa não se ocupou da discussão das perdas de biodiversidade ou de outros tipos de impactos ambientais negativos provenientes das práticas agropecuárias na bacia, mesmo considerando sua importância. Partiu-se do pressuposto que o aumento da infiltração das águas pluviais, a minimização do escoamento superficial e o gerenciamento da bacia hidrográfica, sejam pontos de partida para o (re)estabelecimento do equilíbrio ambiental.

Em suma, buscou-se discutir estratégias de conservação em áreas antrópicas destinadas ao uso intensivo e extensivo do solo, sobretudo, estendendo a discussão à bacia hidrográfica como um todo e suas propriedades rurais, lócus específicos das práticas antrópicas e impactos ambientais.

3. A Equação Universal de Perda de Solos executada em conjunto ao geoprocessamento apresenta como resultado, estimativas de perdas de solo. Esses resultados, em conformidade ao conceito de modelagem, não traz como finalidade a exatidão em suas estimativas, e sim aproximações, simplificações, a busca do entendimento dos sistemas ambientais.

No entanto, a utilização da EUPS/USLE requer cuidados prévios, tendo em vista uma maior aproximação dos resultados modelados à realidade dos ambientes. Neste sentido, a escala dos dados geográficos constitui fator determinante.

Este trabalho teve como prioridade a definição, escolha e refinamento dos dados físicos (geoprocessamento) da bacia das nascentes do rio Araguaia com escala de maior detalhamento, a fim de obter maior acurácia na modelagem da Equação Universal de Perda de Solos.

Outro fator crucial na busca de maior acurácia na modelagem foi a distinção das áreas de ocorrência de processos erosivos e de processos de sedimentação. Por esta razão, estas últimas, correspondentes aos leitos do rio Araguaia e seus afluentes foram retiradas do cômputo das perdas de solos. Este procedimento é de suma relevância, haja vista, que nestas áreas a EUPS/USLE não é aplicável.

Faz-se também de grande importância a utilização de metodologias de identificação e delimitação principalmente dos tipos de cultura ou outros tipos específicos de uso e cobertura do solo de modo a relacioná-los com maior precisão aos valores do fator CP.

A fim de contribuição para pesquisas futuras, na busca por maior exatidão em modelagens, sugere-se que as modelagens sejam realizadas, quando possível, para todos os meses do período chuvoso, escolhendo-se imagens de satélite sem a interferência de nuvens, de modo a acompanhar o processo de cobertura ou exposição do solo.

4. Para além das modelagens/estimativas efetuadas por esta pesquisa, seria de grande importância a mensuração e monitoramento dos processos hidrossedimentares na região das nascentes do rio Araguaia.

Trata-se de uma região amplamente estudada e acompanhada sistematicamente por algumas instituições públicas, como a Universidade Federal de Goiás, o Ministério Público (GO), a Delegacia Estadual do Meio Ambiente (GO), além da vizinhança junto ao Parque Nacional das Emas (PNE/IcmBio).

5. Este trabalho ainda possibilita levantar a discussão se grandes propriedades rurais, como os latifúndios da bacia das nascentes do Araguaia, fazem direito aos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) recomendados pelo Programa Produtor de Água. Ou ainda, discutir se o PPA deveria ser debatido em nível de política pública, voltado ao manejo conservacionista de bacias hidrográficas, ao invés de um Programa de adesão voluntária a proprietários rurais.

10. BIBLIOGRAFIA

ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. **TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015**. In: Scientific data, 2018.

Agência Nacional das Águas (Brasil). **O Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Ministério Público (MP) de Goiás vão trabalhar em parceria pela proteção e conservação do Rio Araguaia**. Secretaria de Comunicação da Presidência da República (2010). Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/governo-cria-agenda-para-salvar-o-rio-araguaia.2019-03-14.5223487350>> Acesso: 10 de janeiro 2020.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **MANUAL OPERATIVO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA / AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**. 2ª Edição. Brasília: ANA, 2013. 84 p.: il.

AHMAD, F., 2012. **Detection of change in vegetation cover using multi-spectral and multi-temporal information for District Sargodha, Pakistan**. Sociedade Natureza 24, 557–572.

ALMEIDA, F. F. M. de et alii. **Brazilian structural provinces: an introduction**. Earth-Science Reviews, Amsterdam, 17(1/2): 1-29, Apr 1981.

ALVARES C. A; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK G. **Koppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 6, 711–728 (2014).

ARAÚJO V. A; MORETON L. C. **Unidades litoestratigráficas**. In: GEOLOGIA do Estado de Goiás e Distrito Federal. Org. por Maria Luiza Osório Moreira, Luiz Carlos Moreton, Vanderlei Antônio de Araújo, Joffre Valmório de Lacerda Filho e Heitor Faria da Costa. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008.

ARNOLD, J. G. et al. **Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development**. Journal of the American Water Resources Association, Illinois, v. 34, n. 3, p. 73-89, Feb. 1998.

ARNOLD, J. G. et al. **Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 227, n. 1/4, p. 21-40, Mar. 2000.

ARNOLD, J. G.; FOHRER, N. **SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling**. Hydrological Processes, Chichester, v. 19, n. 3, p. 563-572, Feb. 2005.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. **Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, S P.** Bioscience Journal, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849 - 857. 2010.

ASSAD, E. D. e SANO, E. E. (ed.) (1993) **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura.** Planaltina: EMBRAPA/CPAC.

ASSAD, E.D. e SANO, E.E. (ed.) (1993) **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura.** Planaltina: EMBRAPA/CPAC.

BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes Geológicos, Geomorfológicos e Geotécnicos dos Mecanismos de Voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá - Ouro Preto - MG.** 2000. 226 p. Tese (Doutorado em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

BAGHERZADEH, A. **ESTIMATION OF SOIL LOSSES BY USLE MODEL USING GIS AT MASHHAD PLAIN, NORTHEAST OF IRAN.** Arab J Geosci. 2012.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT.** 2005. 132 p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico Ambiental de Erosão Laminar: Modelo Geotecnológico e Aplicação.** Brasília: Universa, 2003.

BARBALHO M. G. S.; CASTRO S. S. **Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT/MS).** In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, IV, 2002. Anais... São Luís: UGB, 2002.

BARBALHO, M. G. S. **Processos erosivos lineares nas bacias dos rios Claro e dos Bois, afluentes do rio Araguaia no estado de Goiás: relações com a cobertura vegetal e o uso da Terra.** 2010, 194 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2010.

BARBALHO, M. G. S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. **A Expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás de 2001 a 2011.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), São Paulo, n. 29, 20136, p. 98 - 110.

BARBALHO, Maria Gonçalves da Silva. **MORFOPEDOLOGIA APLICADA AO DIAGNÓSTICO E DIRETRIZES PARA O CONTROLE DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA (GO/MT).** Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio Ambientais. Goiânia, 2002. 146 f.: Il.

BARBOSA C. C. A., ATKINSON P. M., DEARING J. A. **Remote sensing of ecosystem services: A systematic review.** *Ecological Indicators* 52 (2015) 430–443

BARBOSA, A. S. **SUSTENTABILIDADE NO SISTEMA BIOGEOGRÁFICO DO CERRADO.** POLITIKA - Fundação João Mangabeira, BRASÍLIA - DF, p. 6 - 19, 31 ago. 2016.

BARROS, A M et alii. **Geologia.** In: PROJETO RADAMBRASIL Folha SD 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, 1982. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).

BARROS, L.G.M. **O USO DOS SISTEMAS NA GEOGRAFIA – ESBOÇO METODOLÓGICO.** In: REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V. 1, N.4, p. 59 – 68, 2012.

BATISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos no Distrito Federal por meio do geoprocessamento. 1997.** 112 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo** 6ª ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BESKOW, S., MELLO, C.R., NORTON, L.D., CURI, N., VIOLA, M.R., AVANZI, J.C. (2009) **Soil Erosion Prediction in the Grande River Basin, Brazil Using Distributed Modelling.** *Catena* , 79, 49-59.

BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management.** Hays, KS: Springer, 2008. 626 p.

BOIN, M. N.; ZAVATTINI, J. A. **Variações do Ritmo Pluvial no Oeste Paulista: gênese e impactos erosivos.** *Geografia*, v. 30, p. 115-139, 2005.

BORGES K.M.R, CARVALHO JÚNIOR O.A, MARTINS E.S, GOMES R.A.T, GUIMARÃES R.F. **Vulnerabilidade natural: a perda de solo da bacia do rio Carinhanha (MG/BA) usando uma abordagem qualitativa da equação universal de perda de solos.** In: *GEOgraphia*, v. 14, n. 27 (2012).

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental.** In VITTE, A. C; GUERRA. A, J. T. (Org.). Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2004. p. 153 - 188.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 07 março 2017.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Disponível em : < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 07 março 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 07 março 2017.

BROOKS, K. N. **HYDROLOGY AND THE MANAGEMENT OF WATERSHEDS** / Kenneth N. Brooks, Peter F. Ffolliott, Joseph A. Magner. – 4th ed. 2012.

BUTT, A., SHABBIR R., AHMAD S. S., AZIZ N. **Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan.** Egypt. J. Remote Sensing Space Sci. (2015).

BUTTAFUOCO, G; CONFORTI, M; AUCELLI, PPC; ROBUSTELLI, G; SCARCIGLIA, F. **ASSESSING SPATIAL UNCERTAINTY IN MAPPING SOIL ERODIBILITY FACTOR USING GEOSTATISTICAL STOCHASTIC SIMULATION.** Environ Earth Sci (2012) 66:1111–1125.

CABACINHA C. D. **Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira.** In: Revista FLORESTA, v. 40 n. 4, p. 675 – 690, Curitiba – PR. 2010. ISSN Eletrônico 1982-4688.

CAPITANI, C., K. MUKAMA, B. MBILINYI, I. MALUGU, P. K. T. MUNISHI, N. D. BURGESS, P. J. PLATTS, S. Sallu, and R. MARCHANT. 2016. **FROM LOCAL SCENARIOS TO NATIONAL MAPS: A PARTICIPATORY FRAMEWORK FOR ENVISIONING THE FUTURE OF TANZANIA.** Ecology and Society (2016), 21(3):4.

CARVALHO, J. C (Org.); SALES, M. M. (Org.); SOUZA, N. M. (Org.); MELO, M. T. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro.** 1. ed. Brasília: FINATEC, 2006. v. 1. 464 p.

CASTRO, S. S. **Erosão hídrica na alta bacia do rio araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual.** Revista do Departamento de Geografia, 17 (2005) 38-60.

CASTRO, S. S. et al. **Estudo da expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais.** In SBPC, II Fórum de C&T no Cerrado. Goiânia, GO, 2007.

CASTRO, S. S.; XAVIER, L.S. (organizadores). **PLANO DE CONTROLE DA EROÇÃO LINEAR DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DAS NASCENTES DOS RIOS ARAGUAIA E ARAGUAINHA – GO e MT.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, Instituto de Estudos Sócio Ambientais (UFG). Goiânia, 2004.

CASTRO, S.S.de; XAVIER, L.de.S.; BARBALHO, M.G. da S. **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares.** – Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, 2004. 75 p.: il.

CASTRO, Selma Simões de. **EROSÃO HÍDRICA NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA: DISTRIBUIÇÃO, CONDICIONANTES, ORIGEM E DINÂMICA ATUAL.** Revista do departamento de Geografia, 17 (2005) 38-60.

CASTRO, W. J. de. et al. **Erodibilidade de solos do cerrado goiano.** Revista em agronegócio e meio ambiente - RAMA, Maringá, v. 4, n. 2, p. 305-320. 2011.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE GOIÁS - CELG - **Levantamento de campo para elaboração de projeto de recuperação das voçorocas (Relatório Final do Projeto de Recuperação Ambiental das Nascentes do Araguaia),** 1998.

CHAVES, H. M. L. **Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria.** In: RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 9 n.3 Jul/Set 2004, 05-14.

CHORLEY, R. J. **DIRECTIONS IN GEOGRAPHY.** London. Methuen, 1973.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and General Systems Theory.** In Theoretical Papers in the Hydrology and Geomorphic Sciences, 1962. p. 1 - 9.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. **Models, Paradigmes and The New Geography.** In: Physical and Information Models in Geography. CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P. (Ed.), Londres: Methuen & Co., 1967.

CHORLEY, R.J.; HAGGETT, P. **Modelos físicos e de informação em geografia.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. 260p.

CHRISTOFOLETTI, A. **A aplicação da abordagem em sistemas na Geografia Física.** Revista Brasileira de Geografia, 52. São Paulo, 1990. P. 21-35.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **As características da nova geografia.** In: Perspectivas da geografia. São Paulo: Difel, 1985, p.71-101.

CHRISTOFOLETTI. **As Perspectivas dos Estudos Geográficos.** In: Perspectivas da Geografia. (Ed.). São Paulo: DIFEL, 11-36, 1982.

- CHRISTOFOLETTI. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª edição – São Paulo, 1999.
- CHU, T. W. et al. **Watershed level BMP evaluation with SWAT model**. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 52., 2005, Saint Joseph. **Proceedings...** Saint Joseph: ASAE, 2005. p. 25.
- COELHO NETO, A. L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. (Org.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. 7º Edição. São Paulo: Editora Bertrand Brasil, 1994. p. 93 - 144.
- COLLISHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 194 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Projeto de lei nº 792, de 2007**. Dispõe sobre a definição de serviços ambientais e dá outras Providências. **Autor:** Deputado Anselmo de Jesus. **Relator:** Deputado Jorge Khoury.
- Corrêa E. A, Moraes I. C, Pinto A.S.F, Lupinacci C.M. **Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação**. In: *Revista do Departamento de Geografia, V. 32 (2016) 72-87*.
- CORRÊA E. A, MORAES I. C, PINTO S. A. F, LUPINACCI C. N. **Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação**. *Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo V.32 (2016)*.
- COSTA, F.R. da; ROCHA, M.M. **GEOGRAFIA: CONCEITOS E PARADIGMAS - APONTAMENTOS PRELIMINARES**. *Revista GEOMAE - Geografia, Meio Ambiente e Ensino. Vol. 01, Nº 02, 2º SEM/2010*.
- COUTINHO, L. M. **O conceito de Cerrado**. *Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978*.
- DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. **Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das Perobas**. *Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 29, n.2, p. 102-114. 2014*.
- DEMERRITT D, Wainwright J. **Models, Modelling, and Geography**. In: *Questioning geography : fundamental debates (N. Castree, A. Rogers, D. Sherman)* Oxford, Blackwell 2005.
- DEUS, J. B. de. **As atuais transformações estruturais na economia goiana e os seus desdobramentos nas mudanças socioespaciais**. ALMEIDA, M. G. de (Org.). *Abordagens*

geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade. Goiânia: IESA, 2002. P. 11- 45.

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.

DUBREUIL V., FANTE K. P., PLANCHON O., SANT'ANNA NETO J. L. **Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015**. In: Confins - Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia, número 37, 2018.

DURÃES, M.; MELLO, C. **Spatial distribution of the potential and current soil erosion for the Sapucaí River Basin, MG, Brazil**. In: Eng Sanit Ambient | v.21 n.4 | out/dez 2016 | 677-685

EHLERS, Eduardo. **O que se entende por agricultura sustentável**. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

EITEN, G. **Delimitação do conceito de Cerrado**. Arquivos do Jardim Botânico, Rio de Janeiro, v. 21, p. 125-134, 1977.

ELLIS, E. **Land-use and land-cover change**. In **Encyclopedia of Earth. Environmental Information Coalition, Cleveland, C.J., Ed.**; National Council for Science and the Environment: Washington, D.C., 2012.

EI-SWAIFY, S.A. **Soil erosion and conservation in the humid tropics**. In: **World soil and Conservation**. Cambridge University Press, digitally printed version, 2009. David Pimentel (editor).

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. Xxvi, 412p.: il.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. 5° ed., rev. e ampl. – 2018. Brasília, DF.

EMBRAPA. **SOLOS FRÁGEIS: Caracterização, Manejo e Sustentabilidade**. Editores: Selma Simões de Castro e Luís Carlos Hernani. Brasília, DF. 2015.

Farhan Y. and Nawaiseh, S. (2015) **Spatial Assessment of Soil Erosion Risk Using RUSLE and GIS Techniques**. Environmental Earth Sciences , 74, 4649-4669.

FATICHI, S. et al. **An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology**. Journal of Hydrology, 537, 45-60, 2016.

FELFILI, J. M.; RIBEIRO, J. F.; FAGG, C. W. e MACHADO, J. W. B. 2000. **Recuperação de Matas de Galeria**. (Embrapa Cerrados Documentos, 21) Embrapa Cerrados, Planaltina, 45 p.

FERNANDES, N. F. **Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios**. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 209-247, 2016. ISSN 2237-3071.

FISHER, P.; COMBER, A.J.; WADSWORTH, R. **Land use and land cover: Contradiction or complement**. In Re-Presenting GIS.; Fisher, P.; Unwin, D., Eds.; Wiley: London, UK, 2005; 85–98.

FOX, J. and VOGLER, J.B., 2005, **Land-use and land-cover change in Montane mainland Southeast Asia**. *Environmental Management*, **36**, pp. 394–403.

FREDERICO, S. **Modernização da agricultura e uso do território: a dialética entre o novo e o velho, o interno e o externo, o mercado e o Estado em áreas do cerrado**. In: GeoUsp – espaço e tempo, n. 33 Especial, p. 218- 232, 2013.

FULFARO, V. J. ; GAMA JUNIOR, E. G. ; SOARES, P. C. **Revisão estratigráfica da bacia do Paraná**. São Paulo, PAULIPETRO, 1980 155p (Relatorio BP-008180).

GARBOSSA, L.H.P.; VASCONCELOS, L.R.C.; LAPA, K.R.; BLAINSKI, E.; PINHEIRO, A. **The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010**. International SWAT Conference & Workshops, Toledo – Espanha. 27 p. 2011.

GARRIDO, K. M. **Aplicação do modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do rio Jiquiriçá, Bahia**. 2003. 186 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

GELAGAY, H. S. & MINALE, A. S. **SOIL LOSS ESTIMATION USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNIQUES: A CASE OF KOGA WATERSHED, NORTHWESTERN ETHIOPIA**. International Soil and Water Conservation. 2016.

GOIÁS (Estado). **Caracterização Climática do Estado de Goiás**. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006. 133 p. il. (Série Geologia e Mineração n° 03. 1. Clima – Goiás. 2. Precipitação Pluviométrica. 3. Temperatura do Ar. 4. Umidade Relativa do Ar. I. SILVA, S. C. da. II. SANTANA, MN. M. P. de. III. PELEGRINI, J. C.

GOIÁS (Estado). **Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório Final**. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2005.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. Goiânia: Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. (Geologia e Mineração, n.1).

Gomes, L; Simões, S.J.C; Forti, M.C; Ometto, J.P.H.B. and Nora, E.L.D. (2017) **Using Geotechnology to Estimate Annual Soil Loss Rate in the Brazilian Cerrado**. Journal of Geographic Information System, 9, 420-439.

GONÇALVES, A.; SCHINEIDER, A. C. **Geologia do Centro-Leste do Mato Grosso**. Ponta Grossa: PETROBRAS-DESUL, 1970. 43p. (Relatório n. 394)

GRIENSVEN, A. van et al. **A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 324, n. 1/4, p. 10-23, Apr. 2006.

GUERRA, A. T. **O início do processo erosivo**. In: Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Guerra, A; SILVA, A; BOTELHO, R (organizadores), 1999. 340 p.

_____. **Processos erosivos nas encostas**. In: Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos. GUERRA, A; CUNHA, S (organizadores). 8ª edição, 2008. 472 p.

GURGEL R. S, CARVALHO JÚNIOR O.A, GOMES R.A.T, GUIMARÃES R.F, CÂMARA J.F.A, SOBRINHO D.A, MARTINS, E. S, BRAGA, A.R.S. **Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da EUPS – equação universal de perdas de solos no município de Riachão das Neves – BA**. Geografia Ensino & Pesquisa, v. 15, n.3,set./dez. 2011.

GUZHA, AC; RUFINO, MC; OKOTH, S; JACOBS, S; NÓBREGA, RLB. **IMPACTS OF LAND USE AND LAND COVER CHANGE ON SURFACE RUNOFF, DISCHARGE AND LOW FLOWS: EVIDENCE FROM EAST AFRICA**. Journal of Hydrology: RegionalStudies,15, Pages 49-67:2018.

HENRIQUES, R. P. B. **Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma Cerrado**. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: MMA, 2005. p. 73-92.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Investigação, caracterização da fenomenologia e diretrizes para o controle corretivo e preventivo de nove feições erosivas lineares e respectivas bacias de contribuição - Bacia Hidrográfica do Alto Araguaia, GO/MT**. Relatório no. 36.904. 1998.

KÖPPEN, W. **Climatología**. Buenos Aires, Fondo de Cultura. 1948.

KUMAR, A.; DEVI, M.; DESHMUKH B. **Integrated Remote Sensing and Geographic Information System Based RUSLE Modelling for Estimation of Soil Loss in Western Himalaya, India**. Water Resource Manage. 2014.

LACERDA FILHO J. V.; FRASCA A. A. S. **Compartimentação geotectônica**. In: GEOLOGIA do Estado de Goiás e Distrito Federal. Org. por Maria Luiza Osório Moreira, Luiz Carlos Moreton, Vanderlei Antônio de Araújo, Joffre Valmório de Lacerda Filho e Heitor Faria da Costa. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008.

LACERDA FILHO, VALMÓRIO J.; **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federa**. Organizado Por Joffre Valmório de Lacerda Filho, Abelson Rezende e Aurelene da Silva. 1:500.000. Goiânia: CPRM, 1999. (Conv. CPRM/METAGO S.A./UnB). 200p. il.; + mapas.

LAMBIN, E., GEIST, H., LEPERS, E. **DYNAMICS OF LAND-USE AND LAND-COVER CHANGE IN TROPICAL REGIONS**. Annu. Rev. Environ. Resour. 28, 205–241: 2003.

LATRUBESSE E.M.; AMSLER M.L.; MORAIS R.P.; AQUINO S. **The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River**. In: Geomorphology 113 (2009) 239–252.

LEPSCH, I. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LI, L.; JIANG, D.; LI, J.; LIANG, L.; ZHANG, L. **ADVANCES IN HYDROLOGICAL RESPONSE TO LAND USE/LAND COVER CHANGE**. J. Nat. Resour. 2007, 22 (2), 211–224.

LIMA, J. E. F. W. 2010. **Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. 312p.

LIMA, J.E.F.W; SILVA, E.M; STRAUCH, M; LORZ, C. **Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do bioma Cerrado**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves. 2013.

LIMBERGER, L. **ABORDAGEM SISTÊMICA E COMPLEXIDADE NA GEOGRAFIA**. 2006.

LIU, J.; ZHANG, C.; KOU, L.; and Zhou Q. **Effects of Climate and Land Use Changes on Water Resources in the Taoer River**. Hindawi. Advances in Meteorology, Volume 2017, Article ID 1031854, 13 pages.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 154 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. **Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 27, n. 4, p. 727-733, jul./ago. 2003.

MAMEDE, L.; ROSS, J.S.; SANTOS, L.M.; NASCIMENTO, M.A.L.S. (1983). **Geomorfologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha SD.22, Goiânia.** Rio de Janeiro: Levantamento de Recursos Naturais V.31: 349-412.

MANNIGUEL, A. R. et al. **Fator erodibilidade e tolerância de perda de solos do Estado de São Paulo.** Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335 - 1340, 2002.

MARCHIORO, E. et. al. **Modelagem da produção de sedimentos usando cenário ambiental alternativo no noroeste do Rio de Janeiro – Brasil.** In: Geografias. Belo Horizonte, 01 de Janeiro - 30 de Junho de 2014. Vol.10, nº 1, 2014.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste Fluminense.** 2008. 196 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARINHO, G. V.; CASTRO, S. S. **Estudo de piezometria com ênfase aos processos de Voçorocamento na alta bacia do rio Araguaia/GO.** In: CBCS, XXIX, 2003, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: UNESP, 2003.

MARTINS, M. S. Substrato geológico e suas relações com os processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. 2000. 63 p. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais - Universidade Federal Goiás, Goiânia, 2003.

Meyfroidt, P., K. M. Carlson, M. E. Fagan, V. H. Gutiérrez-Vélez, M. N. Macedo, L. M. Curran, R. S. DeFries, G. A. Dyer, H. K. Gibbs, E. F. Lambin, D. C. Morton, and V. Robiglio. 2014. **Multiple pathways of commodity crop expansion in tropical forest landscapes.** *Environmental Research Letters* 9(7):074012.

MIGUEL, P. **Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS. 2010.** 110 p. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) –Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MINSHULL, R. **An introduction to models in Geography.** New York: Longman Group Limited, 1975.

MISHRA, A.; KAR, S.; SINGH, V. P. **Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield.** *Water Resource Management*, Ann Arbor, v. 21, n. 11, p. 1899-1913, Nov, 2007.

MIZUMOTO, Celso Norimitsu. **O CERRADO E O SEU BRILHO.** 432 p. São Paulo. 2009.

MONTEIRO, C. A. de F. **Notas para o estudo do clima do Centro-Oeste brasileiro.** *Revista Brasileira de Geografia*, São Paulo, a. 1, n. 1, p. 3-45, 1951.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. **Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurgueia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica**. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 27, n. 1, p. 84 - 101, 2017.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation** – Blackwell Publishing, 3rd ed, 316 p. 2005.

MORIASI D.N; ARNOLD J. G; VAN LIEW M. W; BINGER R. L; HARMEL R. D; VEITH T. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. Trans ASABE, v.50, p.885-900, 2007.

MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, J. **Modelling and Model Building**. In: Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity. 2nd WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2a., 7-26, 2013.

MUTTITANON, W. and TRIPATHI, N.K., 2005, **Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data**. International Journal of Remote Sensing, 26, pp. 2311–2323.

NASCIMENTO, M. A. L. S. **Geomorfologia do estado de Goiás**. In: Boletim Goiano de Geografia. Goiânia: UFG, V.12, n.1. Jan./Dez. 1991.

NEITSCH, S. L. et al. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation version 2005**. Temple: Blackland Research Center, 2005. 541 p. NEITSCH, S. L. et al. Soil and water assessment tool: theoretical documentation version 2005. Temple: Blackland Research Center, 2005. 541 p.

NIMER E. Clima. In: Duarte, A.C. (Ed.) **Geografia do Brasil**, Vol. 1. Região Centro-Oeste. IBGE, Rio de Janeiro. 1989.

NIMER, E. **Clima na Região Centro-Oeste**. Fundação IBGE. Rio de Janeiro - RJ, 1989.

NIMER, E. **Climatologia Centro-Oeste da Região do Brasil, introdução à Climatologia Dinâmica - Subsídios à Geografia Regional do Brasil**. In: R. Bras. Geog., Rio de Janeiro, 34(4) :3-30 out./dez. 1972.

Novaes, A.S.S, Z.P. Amaral Filho, P.C. Vieira & A.G.C. Fraga. 1983. **Pedologia**. In: Projeto Radambrasil, Folha SE.22 - Goiânia. Rio de Janeiro, p. 413-576. (Levantamento de Recursos Naturais, 31).

NOVAES, A.S.S.; AMARAL, F.O.; VIEIRA, P.C.; FRAGA, A.G.C. (1983). **Levantamento Exploratório dos Solos**. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha SE22, Goiânia. Rio de Janeiro. Levantamento de Recursos Naturais, 31: 413-576.

NUNES J. O. R., SANT'ANNA NETO J. L., TOMMASELLI J. T. G., AMORIM M. C. C., PERUSI M. C. **A INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS CIENTÍFICOS NA GEOGRAFIA FÍSICA.** In: Terra Livre. 2006.

NUNES, E. D. **Modelagem de processos erosivos hídricos lineares no município de Mineiros – GO.** 2015. 242 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA P.M. **Programas agrícolas na ocupação do Cerrado.** In: Sociedade e Cultura, v. 3, n. 1 e 2, jan/dez. 2000, p. 111-131.

OLIVEIRA VCV, Castro SS. **Compartimentação morfopedológica, sistemas pedológicos e erosão laminar: Algumas considerações sobre o setor sul da alta bacia do rio Araguaia-GO/MT.** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia - Regional Conference on Geomorphology. Anais... Goiânia - Goiás, 2006.

OLIVEIRA, A.; SOUZA, R. M. **CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO GEOSISTÊMICO AOS ESTUDOS INTEGRADOS DA PAISAGEM.** In: Geoambiente online, 2012.

OLIVEIRA, F. G; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M.E.L. **Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do lagoado, Botucatu – SP.** In: Energ. Agric., Botucatu, vol. 30, n.3, p.302-309, julho-setembro, 2015

OLIVEIRA, J. A.; DOMINGUEZ, J. M. L.; NEARING, M. A.; OLIVEIRA, P. T. S. **A GIS-Based procedure for automatically calculation soil loss from the universal soil loss equation: GISus-M.** American Society of Agricultural and Biological Engineers. v. 31, n. 6, 2015. p. 907–917.

OLIVEIRA, J. S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG. 2012.** 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. **Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil, Brazil.** Engenharia Agrícola, n. 32, p. 69 - 79. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000100008>.

OLIVEIRA, P. T. S; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. **Rainfall erosivity in Brazil: A review.** Catena. n. 100, p. 139 - 147, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>

OLIVEIRA. V. C. V. **Suscetibilidade e risco à erosão laminar no setor sul do alto curso da bacia do rio araguaia (go/mt): discussão metodológica e proposta de avaliação espacial.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2004.

OLSON, J.M., Alagarswamy, G., Andresen, J.A., Campbell, D.J., Davis, A.Y., Ge, J., Huebner, M., Lofgren, B.M., Lusch, D.P., Moore, N.J., Pijanowski, B.C., Qi, J., Thornton, P.K., Torbick, N.M., Wang, J. **INTEGRATING DIVERSE METHODS TO UNDERSTAND CLIMATE AND INTERACTIONS IN EAST AFRICA**. *Geoforum* 39, 898–911: 2008.

OZSAHIN, E.; DURU, U.; EROGLU, I. **LAND USE AND LAND COVER CHANGES (LULCC), A KEY TO UNDERSTAND SOIL EROSION INTENSITIES IN THE MARITSA BASIN**. *Water* 10, 335: 2018.

PAIBOONVORACHAT, C.; OYANA T.J. **Land-cover changes and potential impacts on soil erosion in the Nan watershed, Thailand**. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 32, No. 21, 10 November 2011, 6587–6609.

PANDEY, A., CHOWDARY, V.M. and MAL, B.C. (2007) **Identification of Critical Erosion Prone Areas in the Small Agricultural Watershed Using USLE, GIS and Remote Sensing**. *Water Resource Management* , 21, 729-746.

PARANHAS FILHO A.C, FIORI A.P, DISPERATI L, LUCCHESI C, CIALI A, LASTORIA G. **Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarzinho-MS**. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 52, p. 49-59, 2003. Editora UFPR.

PARANHOS FILHO, A. C. **Análise geo-ambiental multitemporal: o estudo de caso da região de Coxim e da Bacia do Taquarzinho (MS – Brasil)**. 2000. 213 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2000.

Parker, D. C., A. Hessler, and S. C. Davis. 2008. **Complexity, landuse modeling, and the human dimension: fundamental challenges for mapping unknown outcome spaces**. *Geoforum* 39(2):789-804.

PATIL R. J.; SHARMA S. K.; TIGNATH S. **Remote Sensing and GIS based soil erosion assessment from an agricultural watershed**. *Arabian Journal of Geosciences* (2015) Volume 8, Issue 9, pp 6967–6984

PAULA M. M.; DIOGO A.; CARBALLAL M. R.; GOMES M. A. F. **Realidade socioeconômica das propriedades rurais na região das nascentes do Rio Araguaia, GO/MT**. In: *Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil e impactos na qualidade. Implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental*. Marco Antônio Ferreira Gomes (editor técnico). Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Brasília, DF.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo, 2002. 549 p.

PROCHNOW, D.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. de; VIEIRA, S. R. **Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.1, 2005, p. 91-98.

RAMALHO FILHO, A. And BEEK, K.J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras** (1995). 3th Edition, EMBRAPA-CNPQ, Rio de Janeiro.

RAO, K.S. and PANT, R., 2001, **Land use dynamics and change pattern in a typical micro watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India**. *Agricultural Ecosystems and Environment*, **86**, pp. 113–123.

REID, R.S., KRUSKA, R.L., MUTHUI, N., TAYE, A., WOTTON, S., WILSON, C.J. and MULATU, W., 2000, **Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia**. *Landscape Ecology*, **15**, pp. 339–355.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. (1997) **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, USDA.

RENARD, P.; ALCOLEA, A.; GINSBOURGER, D. **Stochastic versus Deterministic Approaches**. In: Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity. WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2a, 33-149, 2013.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental - Relatório Técnico Parcial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Dezembro, 2000.

RESENDE, A. **Estudo do Processo de Voçorocamento na Bacia do Córrego Capivara - Alta Bacia do Rio Araguaia, em Mineiros (GO)**. 2003. 148 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

REZENDE, A. et al. **Descrição das unidades litoestratigráficas do estado de Goiás e do Distrito Federal**. In: Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 1:500.000. Goiânia: CPRM, 1999. (Conv. CPRM/METAGO S.A./UnB).

RIBEIRO & WALTER. **As Matas de Galeria no contexto do Bioma Cerrado**. In: Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. RIBEIRO, José Felipe; FONSECA, Carlos Eduardo Lazarin da; SILVA, José Carlos Sousa. (org) – Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 899p.

RIBEIRO J. F.; WALTER B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

RIBEIRO, J. F & WALTER, B. M. T. **As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

RIZEEI H. M.; SAHARKHIZ M. A.; PRADHAN B.; AHMAD N. **SOIL EROSION PREDICTION BASED ON LAND COVER DYNAMICS AT THE SEMENYIH WATERSHED IN MALAYSIA USING LTM AND USLE MODELS**. Geocarto International, 2016.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997.

Rounsevell, M. D. A., B. Pedrolí, K.-H. Erb, M. Gramberger, A. G. Busck, H. Haberl, S. Kristensen, T. Kuemmerle, S. Lavorel, M. Lindner, H. Lotze-Campen, M. J. Metzger, D. Murray-Rust, A. Popp, M. Pérez-Soba, A. Reenberg, A. Vadineanu, P. H. Verburg, and B. Wolfslehner. 2012. **Challenges for land system science**. *Land Use Policy* 29(4):899-910.

RUIZ, Amarildo Salinas et al. **Descrição das Unidades Litoestratigráficas**. In: Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. Org. Joffre Valmório de Lacerda Filho, Waldemar Abreu Filho, Cidney Rodrigues Valente, Cipriano Cavalcante de Oliveira e Mário Cavalcanti Albuquerque. Esc. 1:1.000.000. Goiânia: CPRM, 2004. (Convênio CPRM/SICME).

SALOMÃO, F.X.T. **Controle e prevenção dos Processos Erosivos**. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.) *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. P. 340.

SANTANA, Neiva Maria Pio de, et al. **CHUVAS, EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE, USO DO SOLO E SUAS RELAÇÕES COM FOCOS EROSIVOS LINEARES NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA**. In: Sociedade & Natureza, Uberlândia, 19 (2): 103-121, dez. 2007.

SANTHI, C. et al. **A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plants implemented in the Big Cypress Creek watershed**. Saint Joseph: ASAE, 2003. 701 p. (ASAE Publication, 1503).

SCOPEL, I.; SILVA, M. R. **Erodibilidade no Estado de Goiás**. Uniciência, Anápolis, v.8, n.1 e 2, p. 123-132, 2001.

SEN, K.K., SEMWAL, R.L., RANA, U., NAUTIYAL, S., MAIKHURI, R.K., RAO, K.S. and SAXENA, K.G., 2002, **Patterns and implications of land-use/cover change: a case study in Pranmati watershed (Garhwal Himalaya, India)**. *Mountain Research and Development*, **22**, pp. 56–62.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA B. A. **Caracterização Climática do Bioma Cerrado**. In: Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF. 2008.

SINGH, S.K.; BASOMMI L.P.; MUSTAK, Sk., SRIVASTAVA P.K.; SZABÓ S. **MODELLING OF LAND USE LAND COVER CHANGE USING EARTH OBSERVATION DATASETS OF TONS RIVER BASIN, MADHYA PRADESH, INDIA**. Geocarto International, 2017.

SOUSA JUNIOR, J. J.; FREIRE, F. A.; OLIVEIRA, F. C.; SILVA ,R. H.; BONOW, C. W. ; MOREIRA, H. L. **Geologia da Bacia sedimentar do Paraná**. In: Folha SD.22 Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL – Rio de Janeiro, 1983. 768p.

TURNER, B.L., LAMBIN, E.F. and REENBERG, A., 2007, **The emergence of land change science for global environmental change and sustainability**. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, **104**, pp. 20 666–20 671.

VALÉRIO FILHO, M. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas**. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal: FCAV-UNESP; Viçosa, MG: SBCS, 1994. p. 223-242.

VAN DER KNIJFF, J. M.; JONES, R. J. A.; MONTANARELLA, L. **Soil Erosion Risk Assessment in Europe**. Ispra: European Soil Bureau. Joint Research Centre. 2000.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. **Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 194-206, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

VIEL J. A., ROSA K. K., HOFF R. **Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem vale dos vinhedos (Brasil)**. Revista Brasileira de Geomorfologia v. 18, nº 3 (2017).

WISCHMEIER, W. H., and SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain**. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.

XAVIER, Luciano de Souza. **SUSCETIBILIDADE NATURAL E RISCO À EROSÃO LINEAR NO ALTO CURSO DO RIO ARAGUAIA (GO/MT): SUBSÍDIOS AO PLANEJAMENTO GEOAMBIENTAL** / Luciano de Souza Xavier. – Goiânia, 2003. 148, [5] f. : il.

ZHOU, Yuyu. **WATERSHED HYDROLOGY AND LAND-USE AND LAND-COVER CHANGE (LULCC)**. In: Encyclopedia of Natural Resources: Water, Publisher: Taylor & Francis, pp.892-895: 2014.

ZHU, M. **SOIL EROSION ASSESSMENT USING USLE IN THE GIS ENVIRONMENT: A CASE STUDY IN THE DANJIANGKOU RESERVOIR REGION, CHINA.** Environ Earth Sci. 2014.