

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS

**ANÁLISE DO CUSTO ECONÔMICO DA EROSÃO EM  
UMA BACIA HIDROGRÁFICA OCUPADA POR  
AGRICULTURA – UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO  
RIO JARDIM-DF**

Thiago Avelar Chaves

Orientador: Prof.Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Brasília 15 de Fevereiro de 2011

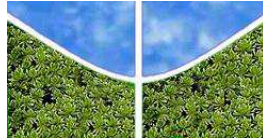
THIAGO AVELAR CHAVES

**ANÁLISE DO CUSTO ECONÔMICO DA EROSÃO EM  
UMA BACIA HIDROGRÁFICA OCUPADA POR  
AGRICULTURA – UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO  
RIO JARDIM-DF**

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de Concentração “Gestão Ambiental e Territorial” e linha de pesquisa “Geoprocessamento para a Gestão Territorial e Ambiental”, opção Acadêmica.

ORIENTADOR: PROF.DR. ROBERTO ARNALDO TRANCOSO GOMES  
CO-ORIENTADOR: PROF.DR. OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR

Brasília 15 de Fevereiro de 2011



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS

**ANÁLISE DO CUSTO ECONÔMICO DA EROSÃO EM  
UMA BACIA HIDROGRÁFICA OCUPADA POR  
AGRICULTURA – UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO  
RIO JARDIM-DF**

THIAGO AVELAR CHAVES

Qualificação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

---

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes - Universidade de Brasília  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Éder de Souza Martins – Embrapa  
(Examinador)

---

Dr<sup>a</sup>. Adriana Reatto dos Santos Braga – Embrapa  
(Examinadora)

---

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior - Universidade de Brasília  
(Co-orientador)

Brasília, 15 de Fevereiro de 2011

## FICHA CATALOGRAFICA

CHAVES, THIAGO AVELAR

Análise do Custo Econômico da Erosão em uma Bacia Hidrográfica Ocupada por Agricultura – Um Estudo de Caso na Bacia do Rio Jardim-DF , 86 p., 297mm, (UnB-IH-GEA-LSIE, Mestrado, Gestão Ambiental e Territorial, 2011).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

1 – Custo Econômico da Erosão

2 - EUPS

3 – Análise Morfométrica

4 – Atividades Produtivas

5 - Bacia do Rio Jardim

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CHAVES, Thiago Avelar. **Análise do Custo Econômico da Erosão em uma Bacia Hidrográfica Ocupada por Agricultura – Um Estudo de Caso na Bacia do Rio Jardim-DF.** Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, 2011, 86 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Thiago Avelar Chaves

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: “**Análise do Custo Econômico da Erosão em uma Bacia Hidrográfica Ocupada por Agricultura – Um Estudo de Caso na Bacia do Rio Jardim-DF.**”

GRAU/ ANO: Mestre/ 2011

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

---

Thiago Avelar Chaves

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Jesus, guias e referenciais, pelas conquistas e aprendizado obtido durante os dois anos de mestrado.

Aos meus pais, Rubens Chaves de Oliveira e Dóris Magna Avelar de Oliveira, exemplos de vida e superação para toda a família. Meus irmãos Arthur Avelar Chaves, pelas horas de descontração com nossas partidas e análises de jogos, filmes e séries, e Igor Avelar Chaves, mesmo estando literalmente do outro lado do mundo, sempre esteve presente.

Aos professores Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Renato Fontes Guimarães, Éder de Souza Martins pelos anos de dedicação, amizade, aprendizado, confiança e aprendizado.

À Adriana Reatto dos Santos Braga pelas sugestões, críticas e informações que contribuíram para melhorar a qualidade desta pesquisa.

Aos colegas do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais, Wátilla, Rosana Gurgel, Pedro, Vinícius, Leonardo, Thiago, Aline, Marcus Fábio, Antônio Felipe, pelas discussões, debates, sugestões e críticas que contribuíram não só para o desenvolvimento da dissertação, mas também para o crescimento como geógrafo.

Ao corpo docente do Departamento de Geografia da UnB.

Aos colegas de trabalho da MRS, em especial Wellington, Rodrigo, Jonathan, Janderson, André, Helena, e Yone pelo apoio e conhecimento adquirido dado desde que comecei a trabalhar na empresa.

Aos meus amigos Tunico, Milena, Marina e Luíza Troina pela compreensão, dado que minha ausência foi constante.

Aos mestres Ian Anderson, John Cleese e Eric Idle cujas obras influenciaram em muito a formação de meu caráter.

Em especial, agradeço à Adriana Dias por todo o companheirismo, carinho e apoio dado durante o desenvolvimento da dissertação.

## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 TAXAS DE PERDA DE SOLO .....	15
2.2 RELAÇÃO ENTRE AS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO E SOLOS.....	20
2.3 ECONOMIA E MEIO AMBIENTE .....	20
2.4 CUSTOS ECONÔMICOS DA EROÇÃO.....	22
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>25</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS.....	25
3.2 ATIVIDADES AGRÍCOLAS.....	32
3.2.1 Núcleo Rural Tabatinga .....	35
3.2.2 Núcleo Rural Jardim.....	36
3.2.3 Área do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito federal - PAD/DF .....	37
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
4.1 ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO .....	39
4.2 ESTIMATIVA DA TAXA DE EROÇÃO .....	40
4.2.1 Fator R .....	40
4.2.2 Fator K .....	43
4.2.3 Fator LS.....	43
4.2.4 Fator CP .....	43
4.3 ESTIMATIVA DA TAXA DE EROÇÃO EM AMBIENTE NATURAL.....	44
4.4 ANÁLISE DO CUSTO DE PRODUÇÃO.....	44
4.5 ANÁLISE DO CUSTO ECONÔMICO DA EROÇÃO .....	47
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
5.1 ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO .....	49
5.2 PARÂMETROS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS .....	50
5.2.1 Fator R .....	50
5.2.2 Fator K .....	53
5.2.3 Fator LS.....	57
5.2.4 Fator CP .....	59

5.3	TAXA DE EROSIÃO EM 2008 .....	62
5.4	ESTIMATIVA DA TAXA DE EROSIÃO EM AMBIENTE NATURAL DA BACIA .....	64
5.5	ANÁLISE DO CUSTO DA PRODUÇÃO .....	68
<b>6</b>	<b>INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS E ESTIMATIVA DO CUSTO ECONÔMICO DA EROSIÃO NA BACIA.</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE ARGILA DO SOLO E O VALOR DE K ESTIMADO PELO MÉTODO ADAPTADO DE DENARDIN (1990) PROPOSTO POR LIMA ET AL (2007) .....	18
FIGURA 2 – EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO (ADAPTADO DE PINDYCK & RUBINFELD, 1994 APUD. RODRIGUES ET AL, 2001).....	21
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
FIGURA 4 – GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO (ADAPTADO DE CAMPOS. & SILVA., 1993).....	28
FIGURA 5 - MAPA DE SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO (REATTO ET AL, 2000) .....	31
FIGURA 6 – ÁREAS DE ATUAÇÃO DA EMATER NA BACIA DO RIO JARDIM .....	34
FIGURA 7 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA .....	39
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....	42
FIGURA 9– MODELO DIGITAL DE TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO.....	49
FIGURA 10 – MAPA DE DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
FIGURA 11 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL TOTAL (MM) POR ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA. ....	51
FIGURA 12 –FATOR R CALCULADO PARA CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	51
FIGURA 13 - MAPA DE EROSIVIDADE DA CHUVA NA BACIA DO RIO JARDIM .....	52
FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE K PARA OS LATOSSOLOS E NITOSSOLOS NA ÁREA DE ESTUDO .....	54
FIGURA 15 DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE K PARA OS CAMBISSOLOS NA ÁREA DE ESTUDO.....	55
FIGURA 16 – FATOR K DA ÁREA DE ESTUDO .....	56
FIGURA 17 – FATOR LS DA ÁREA DE ESTUDO .....	58
FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE USO NA BACIA DO RIO JARDIM .....	60
FIGURA 19 – MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO PARA O ANO DE 2008 .....	61
FIGURA 20 – TAXA DE EROSÃO NA BACIA DO RIO JARDIM PARA O ANO DE 2008 .....	63
FIGURA 21 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES FITOFISIONÔMICAS .....	65
FIGURA 22 – VEGETAÇÃO PRIMÁRIA DA ÁREA DE ESTUDO .....	66
FIGURA 23 – TAXA DE EROSÃO EM AMBIENTE NATURAL NA ÁREA DE ESTUDO .....	67
FIGURA 24 – PRODUÇÃO DE ALFACE.....	69
FIGURA 25 – PRODUÇÃO DE PIMENTÃO .....	69
FIGURA 26 – PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS .....	69
FIGURA 27 – PRODUÇÃO DE TOMATE .....	69
FIGURA 28 – PRODUÇÃO DE LIMÃO.....	69
FIGURA 29 – PRODUÇÃO DE SOJA .....	69
FIGURA 30 – PRODUÇÃO DE FEIJÃO.....	69
FIGURA 31 – PRODUÇÃO DE MILHO .....	69
FIGURA 32 – RESQUÍCIOS DE PRODUÇÃO DE TRIGO + PLANTIO DE SOJA .....	70
FIGURA 33 – PRODUÇÃO DE FEIJÃO IRRIGADO POR SISTEMA DE PIVÔ CENTRAL.....	70
FIGURA 34 – PRODUÇÃO DE SORGO .....	70
FIGURA 35 – ÁREA DE PASTAGEM .....	70
FIGURA 36 – ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SOJA IRRIGADAS POR SISTEMA DE PIVÔ CENTRAL.....	70
FIGURA 37 – ÁREA DE REFLORESTAMENTO .....	70
FIGURA 38 – ÁREAS DE PRODUÇÃO DE MILHO IRRIGADAS POR SISTEMA DE PIVÔ CENTRAL.....	70
FIGURA 39 – VISÃO GERAL DO ALTO RIO JARDIM.....	70
FIGURA 40 - VISÃO GERAL DO MÉDIO RIO JARDIM.....	71
FIGURA 41 - - VISÃO GERAL DO BAIXO RIO JARDIM .....	71



FIGURA 42 - ATIVIDADES PRODUTIVAS NA BACIA DO RIO JARDIM. – ANO 2008.....	72
FIGURA 43 – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO DA EROSIÃO NA BACIA DO RIO JARDIM .....	74
FIGURA 44 - CUSTO ECONÔMICO DA EROSIÃO NO RIO JARDIM .....	77

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE SOLO DA BACIA DO RIO JARDIM .....	29
TABELA 2 – PRINCIPAIS ATIVIDADES PRODUTIVAS NAS DIFERENTES ÁREAS DE ATUAÇÃO DA EMATER-DF (ADAPTADO DE EMATER, 2009A) .....	33
TABELA 3 – PRINCIPAIS ATIVIDADES PRODUTIVAS NO NÚCLEO RURAL TABATINGA (EMATER, 2006 E 2007) .....	35
TABELA 4 – ATIVIDADES PRODUTIVAS NO NÚCLEO RURAL JARDIM (EMATER, 2008B E 2009B) .....	36
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DO FATOR R.....	41
TABELA 6 – VALORES DO FATOR CP (ADAPTADO DE SILVA, 2004).....	44
TABELA 7 – CUSTO DA PRODUÇÃO DAS DIVERSAS ATIVIDADES PRODUTIVAS NA BACIA DO RIO JARDIM .....	45
TABELA 8 – CÁLCULO DO CUSTO DE OPERAÇÃO DE UM PIVÔ CENTRAL (ADAPTADO DE OKAWA, 2001) .....	46
TABELA 9 – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO PARA O CUSTO ECONÔMICO DA EROSIÃO NA BACIA DO RIO JARDIM .....	48
TABELA 10 – VALOR K PARA AS CLASSES DOS NEOSSOLOS FLÚVICOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, GLEISSOLOS E PLINTOSSOLOS CALCULADOS A PARTIR DO TEOR DE ARGILA DOS PERFIS ANALISADOS POR REATTO <i>ET AL</i> (2000). .....	53
TABELA 11 – VALORES DE CP E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS (SILVA, 2004) .....	59
TABELA 12 – FITOFISIONOMIAS NATURAIS DA BACIA DO RIO JARDIM E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS (ADAPTADO DE SPERA <i>ET AL</i> , 2005 E REATTO <i>ET AL</i> , 2000).....	64
TABELA 13 – VALORES DE CP (ADAPTADO DE SILVA, 2004) .....	65
TABELA 14 – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO RELATIVAS AO POTENCIAL DE PERDA DE SOLOS (ADAPTADO DE FARINASSO <i>ET AL</i> . 2006).....	73
TABELA 15 – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO PARA O CUSTO ECONÔMICO DA EROSIÃO NA BACIA DO RIO JARDIM.....	76

## RESUMO

Com a intensificação e expansão das áreas de uso agrícola, o solo se torna mais susceptível à erosão, podendo causar prejuízos econômicos para os investidores. Para se contabilizar esta perda econômica, é necessário realizar uma análise integrada da paisagem. O objetivo deste trabalho é analisar o custo econômico da erosão em uma bacia hidrográfica ocupada por agricultura. Para o estudo de caso, foi escolhido a Bacia Hidrográfica do Rio Jardim – DF, devido a sua grande importância agrícola regional. A metodologia se divide nas seguintes etapas: (A) Análise morfométrica da bacia; (B) Análise da taxa de erosão (C) Análise do sistema produtivo da bacia do rio Jardim; e (D) Integração dos resultados e análise do custo econômico da erosão na área de estudo. Foi realizado o mapeamento das atividades produtivas na bacia hidrográfica do rio Jardim a partir de estudos bibliográficos, levantamentos de campo, e interpretação de Imagem ALOS. Além disso, verificou-se que, com a intensificação da agricultura, a taxa de erosão atual pode chegar a ser seis vezes maior que a taxa de erosão em ambiente natural. Nesse sentido, foram definidas cinco classes de interpretação de custo econômico da erosão, onde foi identificado que aproximadamente 40% da área produtiva apresenta baixo custo econômico da erosão em relação à produção e área da bacia.

**Palavras Chave:** Custo Econômico da Erosão; EUPS; Análise Morfométrica; Atividades Produtivas; Bacia do Rio Jardim

## **ABSTRACT**

With the intensification and expansion of the areas under cultivation, the soil becomes more susceptible to erosion, which can lead to economic losses to investors. To account this economic loss, it is necessary an integrated analysis of the landscape. The aim of this study is to analyze the economic costs of soil erosion in a watershed occupied by agriculture. For the case study, the Rio Jardim Basin (Distrito federal, Brazil) was chosen due to its large regional agricultural importance. The methodology is divided into the following steps: (A) Morphometric analysis of the basin; (B) Analysis of the erosion rate; (C) Analysis of the production system of the Rio Jardim Basin; and, finally, (D) Integration of results and analysis of the economic cost of erosion in the study area. The mapping of productive activities in the Rio Jardim Basin was performed, based on bibliographic studies, field surveys, and interpretation of ALOS image. Also, it was found that with the intensification of agriculture, the erosion rate increased up to six times higher than the erosion rate in natural environment. In this sense, five classes of interpretation on the cost of erosion were defined, identifying that approximately 40% of the productive area has low economic cost of soil erosion compared to production and watershed area

**Keywords:** Economic Cost of Erosion; USLE; Morphometric Analysis; Productive Activities; Rio Jardim Basin

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento socioeconômico, tem como condição necessária a criação de uma base de produção sólida que assegure um auto-desenvolvimento sustentável, com a expansão do mercado regional e a participação da grande maioria da população. Para tanto, as políticas de desenvolvimento da região que recebe o investimento têm de contemplar não só a expansão e a modernização de vários setores da economia, mas também contemplar a qualidade do ambiente (Heinze, 2002).

A sustentabilidade pressupõe uma interação no nível econômico, social, e ambiental. Porém, esse progresso, segundo Hammond *et al* (1995), exige políticas direcionadas para estes três níveis de interação.

Isso ocorre devido a uma grande dificuldade em valorar a relação custo-benefício entre o investimento e a perda ambiental, dado que essa valoração deve considerar elementos e fluxos que não possuem valor de mercado, como por exemplo, a biodiversidade (Mueller, 2007). Para isso, toma-se como base, modelos e indicadores para direcionar as políticas ambientais em relação a diversos setores da economia, como por exemplo, a relação Custo Ambiental (%)/ Custo operacional (em valor monetário) (Smulders, 2000; Neto & Peter, 2005). E, para tal, é necessário conhecer não apenas os agentes econômicos, mas também a dinâmica do ambiente.

A erosão provoca diversos impactos ambientais, tais como perda de biodiversidade, assoreamento e queda na qualidade de corpos de água, interferência na produtividade agrícola, redução da capacidade de drenagem, entre outros, atingindo, dessa maneira, tanto a população urbana quanto rural (Mata *et al*, 2007).

A erosão hídrica influencia diretamente na perda de solo, água, nutrientes e matéria orgânica. A utilização desses sistemas em agroecossistemas depende de um sistema de manejo do solo adequado, para reduzir estas perdas (Hernani *et al*, 1999). Um dos principais fatores para a redução da produtividade na maioria das culturas é a perda de nutrientes por erosão hídrica, provocando um aumento nos custos e na contaminação ambiental (Schick *et al*, 2000).

Além disso, a compactação do solo interfere na dinâmica do ciclo hidrológico e do equilíbrio ambiental através da redução da permeabilidade e capacidade de

infiltração do solo. Portanto, sistemas de manejo inadequados podem comprometer o nível de susceptibilidade à erosão do solo (Mata *et al*, 2007).

Com base nisso, propõe-se criar uma metodologia que vise integrar os cálculos de perda laminar de solo e o investimento necessário para iniciar o empreendimento agrícola, a fim de analisar o custo econômico da erosão em uma bacia hidrográfica ocupada por vários tipos de produção agrícola.

Deste modo, a dissertação ficou dividida da seguinte maneira: O capítulo 2 consiste no referencial teórico para este trabalho; O capítulo 3 apresenta uma caracterização da área de estudo, destacando seus aspectos físicos e o sistema produtivo na bacia do rio Jardim; já o capítulo 4, consiste na descrição dos materiais e métodos utilizados; o capítulo 5 apresenta os resultados obtidos; e, por fim, o capítulo 6 consiste nas considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TAXAS DE PERDA DE SOLO

Devido aos problemas causados pelos processos erosivos, muitos modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos para descrever e prever a ocorrência desses fenômenos (Farinasso *et al*, 2006). De acordo com Renard *et al* (1997), até 1954, foram desenvolvidos, nos EUA, diversas equações de predição de perdas de solo, sendo que as autoridades americanas recomendaram que houvesse esforço para a confecção de uma equação nacional. A partir desses esforços, as agências de pesquisa e extensão americanas desenvolveram, a partir da compilação de dados de perda de solo descritas por Wischmeier & Smith (1962, 1978), foi criada a EUPS – Equação Universal de Perda de Solos (*USLE – Universal Soil Loss Equation*). A evolução da EUPS foi relatada por Mata (2009), que realizou extensa revisão bibliográfica sobre o tema.

A EUPS é um modelo empírico, gerado a partir de informações coletadas em campo, estimando a erosão difusa e concentrada. Esta equação veio a ser utilizada como técnica norteadora de planos de gestão de uso do solo em escala local, como propriedades agrícolas, encostas, ou exploração do solo em pequenas áreas (Silva *et al*, 2010). A partir da EUPS, vários modelos de predição de perda de solos foram desenvolvidos, tais como: ANSWERS (Beasley & Huggins, 1982); AGNPS (Young *et al*, 1987); EPIC (Williams, 1990); MUSLE (Glaetzer & Grierson, 1987); SWAT (Arnold & Allen, 1996); entre outros.

Estes modelos, em geral ajustados para solos de clima temperado, exige um grande esforço para se conseguir a obtenção de vários dados de entrada e de adaptação de informações, tais como unidades de grandezas, condições de aplicação e condições de medidas. Porém, apesar de ser uma formulação empírica, a EUPS ainda é o modelo de maior referência no Brasil para estimativa de perda de solos (Silva *et al*, 2010). Dessa maneira, pode-se dizer que os resultados apresentados pela EUPS apresentam um viés qualitativo na análise da perda de solos em ambientes tropicais.

De acordo com Mata *et al* (2007), a EUPS, mesmo gerando resultados qualitativos, pode ser utilizada para elaboração de planos de manejo agrícola e ambiental em bacias hidrográficas, dado que as informações geradas a partir desta equação fornecem informações suficientes para tal aplicação. Segundo os mesmos

autores, adaptar a EUPS em ambientes de SIG permite gerar informações espaciais de forma mais precisa de forma otimizada.

A erosão do solo apresenta-se como um dos grandes impactos causados pela implantação da agricultura, provocando efeitos negativos tanto no ambiente quanto na própria produção agrícola (Marques & Pazzianotto, 2004). Apesar da erosão do solo ser um processo natural, foi considerada como um problema econômico de grandes proporções somente a partir da década de 1920 (Bennet, 1923; Bennet, 1929; Bennet, 1933; Bennet 1935; Baver, 1951; Marques *et al*, 1961; Marques & Pazzianotto, 2004; Telles & Guimarães, 2009).

A EUPS, dada em toneladas por hectare ao ano é o produto dos seguintes atributos: 1) da erosividade da chuva (Fator R – MJ.mm/(ha.h)); 2) da erodibilidade do solo (Fator K – em ton.ha.h/hs.(MJ.mm)); 3) do comprimento de rampa (Fator L – adimensional) e do gradiente de declividade (Fator S – em %); 4) da cobertura superficial ou uso/manejo (Fator C – adimensional); e 5) das práticas conservacionistas (Fator P – adimensional), conforme a Equação [1]:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad [1]$$

Segundo Wischmeier (1959), o Fator R é a capacidade de uma chuva em erodir um solo desprotegido. Para determinar a erosividade, foi utilizado a metodologia proposta por Nascimento (1998) para o Estado de Goiás. A metodologia se baseia nas médias anual e mensal de uma determinada estação pluviométrica, conforme Equação [2]:

$$Ei30 = 89,823 (r^2/p)^{0,759} \quad [2]$$

Onde  $Ei$  é o Índice de Erosividade da estação pluviométrica,  $r$  é a precipitação mensal (mm) e  $P$  é a precipitação anual (mm). Após o cálculo do Índice de Erosividade para cada estação pluviométrica, aplica-se o Fator R (Equação 3) pela equação de Wischmeier & Smith (1978):

$$R = \sum_{j=1}^{12} \quad [3]$$

A erodibilidade do solo – fator K - “é a propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade à erosão, podendo ser definida como a quantidade de material que é



removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes” (Freire et al., 1992).

A obtenção do valor do fator K, dentro das normas estabelecidas da EUPS, exige altos custos financeiros e grande tempo, por trabalhos diretamente com as causas e efeitos dos processos erosivos. Assim, torna-se necessário a obtenção do fator K por métodos indiretos, otimizando o tempo e reduzindo os gastos para determinar a erodibilidade dos solos em uma determinada área (Manningel *et al*, 2002).

Denardin (1990), elaborou um método para o cálculo indireto de K tendo como parâmetro, a textura do solo, a quantidade de matéria orgânica, permeabilidade, e diâmetro médio ponderado, de acordo com a Equação 4:

$$K = 0,00000748M + 0,00448059P - 0,0631175DMP + 0,01039567REL \quad [4]$$

Onde:

M = (%silte + % areia muito fina) \* (100 - %argila);

P = Código de permeabilidade do solo seguindo a classificação de Wishmeier *et al* (1971), adimensional;

O cálculo de DMP (Diâmetro Médio Ponderado), em milímetros, é expresso pela Equação 5:

$$DMP = \exp (\sum F_i \times \ln(di + dil/2)) \quad [5]$$

Onde:

$F_i$  = Percentual correspondente ao intervalo de diâmetros (%);

$d_i$  = Diâmetro superior do intervalo (mm);

$d_{il}$  = Diâmetro inferior do intervalo (mm);

O cálculo de REL (Relação entre matéria orgânica e areia muito fina), adimensional, é dada pela Equação 6:

$$REL = \%MO/\% \geq 0,1 \text{ mm} \quad [6]$$

Onde:

%MO = percentual de Matéria Orgânica

A partir da Equação 7, Lima *et al.*, (2007) realizou um estudo da erodibilidade dos solos no alto da bacia do rio Jardim, adaptando o método de Denardin (1990) para realizar o cálculo de K exclusivamente a partir do teor de argila, simplificando assim, o método. A partir do ajuste do modelo polinomial para descrever a relação entre o teor de argila do solo e o valor de K, o autor determinou um coeficiente de determinação igual de 0,8073, com erro absoluto médio de 0,0022 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> e erro absoluto máximo igual a 0,0059 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. O erro relativo médio foi de 12,69%. A relação entre o teor de argila do solo e o valor de K estimado por meio do método adaptado de Denardin (1990), está representado na Figura 1 e na Equação 7, onde x é o teor de argila do solo:

$$K = 0,00000055x^3 + 0,00008011x^2 - 0,00320292x + 0,00623688 \quad [7]$$

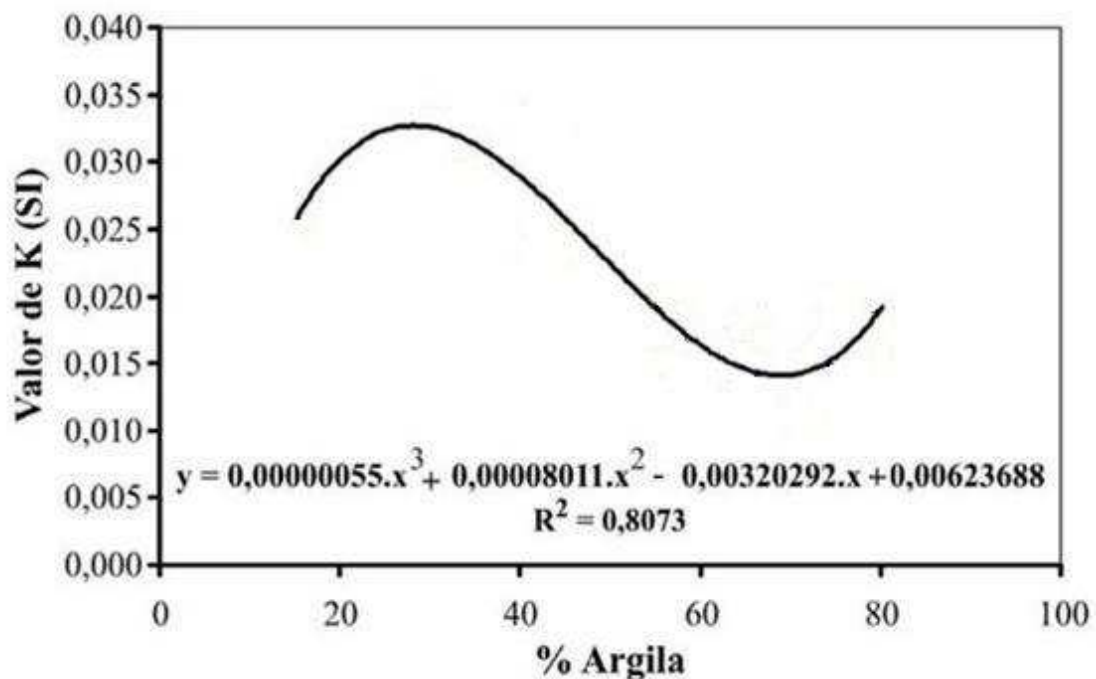


Figura 1 – Relação entre o teor de argila do solo e o valor de K estimado pelo método adaptado de Denardin (1990) proposto por Lima *et al* (2007) .

O fator comprimento de rampa (LS), adotada no cálculo da EUPS de forma adimensional, possui grande relevância na deflagração de processos erosivos, uma vez que sua extensão é diretamente proporcional à velocidade de escoamento. Seu valor médio é dado em metros (Macedo & Rudorff, 2000). Assim, Wischmeier & Smith (1978) caracterizam o Fator L “como sendo a distância do ponto de caimento de água

até o ponto em que ela decresce, delimitando o início de uma sedimentação, podendo ser uma ruptura de vertente junto aos vales ou o encontro com um canal definido”. Já o Fator S representa a declividade do terreno.

Para determinar o fator de comprimento de vertente foi empregado o algoritmo de Desmet & Govers (1996) (Equação 8):

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{D^{m+2} \cdot X_{ij} (22.13)^m} \quad [8]$$

Onde:

$L_{ij}$  – Fator Comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);

$A_{ij-in}$  – Área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) ( $m^2$ );

$D$  – Tamanho da célula;

$X$  – é o coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j);

$m$  – é o coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i,j)

O volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionadas ao grau de declividade do terreno (Bertoni e Lombardi Neto, 1995). O Fator de declividade foi calculado segundo a metodologia de Wischmeier & Smith (1978), onde S é o fator de declividade (adimensional) e s é a declividade média da vertente (%) (Equação 9):

$$S = 0,00654s^2 + 0,0456s + 0,065 \quad [9]$$

Onde S é o fator declividade e s é a declividade média da vertente (%).

Os fatores comprimento de vertente (L) e declividade (S), de acordo com Macedo & Rudorff (2000), geralmente aparecem associados em trabalhos que utilizam técnicas de geoprocessamento para o cálculo da EUPS. A partir dos valores de L e S aplica-se a equação de Bertoni e Lombardi Neto (1995) para o cálculo do Fator LS, conforme a Equação 10.

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,12} \quad [10]$$

Onde L é o comprimento de rampa (m), e S é a declividade (%).

Bertoni e Lombardi Neto (1995) conceituam os fatores C e P de forma dissociada. O fator C mostra como uma determinada prática de uso do solo se relaciona com a taxa de erosão. Já o Fator P são as práticas de manejo, que reduziriam a taxa de erosão.

## **2.2 RELAÇÃO ENTRE AS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO E SOLOS**

Dentre várias teorias que buscam explicar a formação do Bioma Cerrado, destacam-se: A) a teoria climática, que associa a formação deste bioma a sazonalidades climáticas com períodos longos e secos; e B) a teoria edáfica, em que existe um forte controle pedológico e geológico sobre a vegetação, tais como oligotrofismo, capacidade de retenção de água, e estrutura do solo (Spera *et al*, 2005).

As Fitofisionomias de Cerrado são compostas por formações savânicas, campestres, florestas subcaducifólias, e matas de galeria (Gomes *et al*, 2004). Sua ocorrência, quando comparada com outras fisionomias competitivas, como as florestas, estão diretamente relacionadas com a topografia, drenagem, fatores edáficos e queimadas (Eiten, 1972; Furley, 1999), ou seja, a vegetação pode estar associada especificamente ao tipo de solo em algumas áreas do Bioma Cerrado (Spera *et al*, 2005).

## **2.3 ECONOMIA E MEIO AMBIENTE**

A economia ambiental é a ciência que busca relacionar os efeitos dos impactos ambientais sobre as diversas atividades produtivas assim como ao bem-estar social, buscando valorar monetariamente o valor dos recursos utilizados como também valorar o custo monetário das perdas ambientais (Knight & Young, 2006).

De acordo com Ehlers (2007), o debate no meio rural expõe dois grupos com posições distintas quanto à conservação dos recursos naturais. O primeiro grupo defende a expansão da agricultura moderna, sendo que o meio ambiente é um empecilho para o desenvolvimento da atividade produtiva. O segundo grupo entende que as atividades que promovam a sustentabilidade econômica e ambiental possam estimular o desenvolvimento.

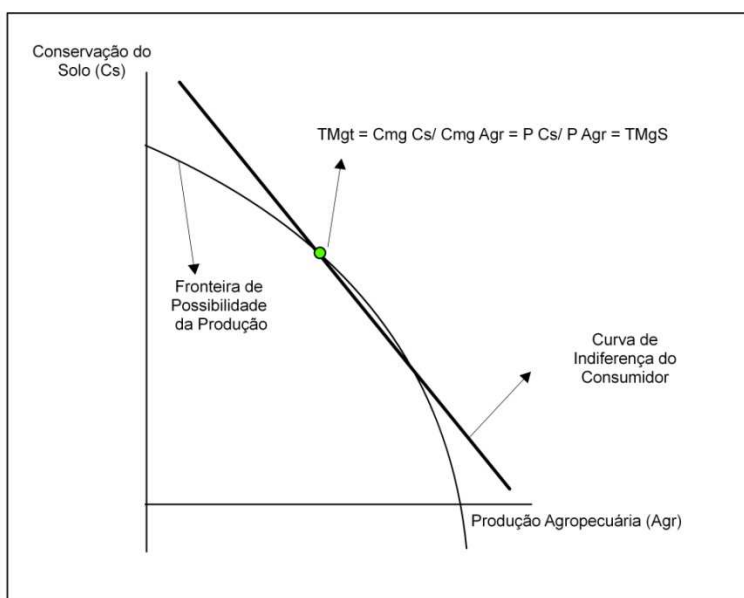
Dessa maneira, a produtividade de uma unidade de produção é dada pela relação entre os produtos e insumos. Assim, a produtividade depende de fatores tais como tecnologia, eficiência dos processos de produção, e ambiente onde a atividade é exercida (Coura *et al*, 2006).

A eficiência na produção ocorre quando a produção de uma mercadoria interfere na produção de outra, ou seja, considerando os custos dentro da produção, a alocação de

insumos é a melhor opção técnica para se alcançar a eficiência. Porém, somente a eficiência técnica não é suficiente para que o sistema seja considerado eficiente. Sendo, portanto, necessário produzir uma combinação dessas mercadorias para maximizar a satisfação dos consumidores (Rodrigues *et al*, 2001).

A Figura 2 simula uma situação de concorrência perfeita, onde o produtor deve escolher entre conservar o solo e expandir sua produção agropecuária. A Curva de Fronteiras de Possibilidades de Produção mostra que, em todos os pontos da curva, tanto a primeira quanto a segunda atividade funcionam como fatores limitantes uma para a outra, dado que o insumo em questão é o próprio solo.

Ou seja, do ponto de vista técnico, a escassez de uma favorece a outra. Porém, do ponto de vista social, somente o ponto tangencial à Curva de Indiferença do Consumidor representa uma produção eficiente. Isso ocorre, pois a TMgT - Taxa Marginal de Substituição, que mede o custo para se produzir uma mercadoria em relação ao custo para se produzir outra, torna-se igual a TMgS – Taxa Marginal de Substituição Marginal, que mede o benefício marginal do consumo de uma mercadoria em relação ao consumo de outra mercadoria, encontrando, no ponto tangencial entre as curvas, o ápice do bem-estar social (Rodrigues *et al*, 2001).



**Figura 2 – Eficiência da Produção (adaptado de Pindyck & Rubinfeld, 1994 *apud*. Rodrigues *et al*, 2001)**

Dessa maneira, a eficiência e rentabilidade econômica são determinantes na escolha das tecnologias utilizadas pelos produtores rurais. Porém, quando estas opções

tecnológicas afetam negativamente o meio ambiente, o bem-estar de outros agentes econômicos que também utilizam os mesmos recursos naturais também é afetado. Assim, uma importante contribuição para as discussões acerca da dicotomia existente entre a eficiência econômica e bem-estar social associado às escolhas técnicas que visem maximizar os lucros, seria medir os impactos ambientais causados por estas opções tecnológicas disponibilizadas para os agricultores (Rodrigues, 2005).

Em relação ao valor dos recursos naturais, tais como água, ar, e solo, este se torna de difícil mensuração, dado que, apesar de serem recursos essenciais para a vida, o que daria um alto valor monetário, a sua relativa abundância reduz o valor monetário (Kinpara, 2006). Dessa maneira, uma forma eficiente para definir um valor para um recurso natural é relativizá-lo, de forma a se ter, dentro de uma determinada escala, uma análise que englobe não apenas o bem econômico em si, mas uma dimensão de espaço e tempo daquele determinado bem, abrangendo, dentro de um mesmo modelo, diversas variáveis que darão uma aproximação do valor daquele recurso natural.

## **2.4 CUSTOS ECONÔMICOS DA EROSÃO**

Rodrigues *et al* (2001) realizaram um levantamento de perda de solo em áreas de plantio de soja e milho no município de Mineiros-GO, tendo por base os cálculos de Saturnino & Landers (1997), onde a perda de solos para a produção de soja é de 4,8 ton/ha.ano a partir de plantio convencional e 0,9 ton/ha.ano no plantio direto; e para a produção de milho, essa quantia é de 3,4 t/ha/ano no plantio convencional e 2,4 ton/ha.ano no plantio direto. O estudo demonstrou que um sistema de plantio direto apresentou uma redução de 79,1% dos custos sociais advindos do processo de produção de soja.

A partir do método de reposição de micronutrientes, Sorreson & Montoya (1989) estimaram, no Estado do Paraná para o ano de 1984, o custo interno provocado pela erosão laminar do solo, assim como estágios de sulcos e voçorocas. Este custo foi calculado a partir da taxa de erosão laminar de 20 ton/ha.ano. Como resultado, constataram que US\$ 242 milhões/ ano em micronutrientes são perdidos por erosão laminar e US\$ 34,5 milhões/ ano pela redução da produção quando nos estágios de sulcos e voçorocas, totalizando US\$ 276,5 milhões/ano de custo interno.

Dentro desse contexto, Smulders (2000) e Neto & Peter (2005) mostram a relação entre o Custo ambiental por perda de solos por Perda laminar de Solos/ Custo operacional em escala de um empreendimento *in locu*. Porém, falta um modelo que permita mapear esta relação em nível de escala regional.

O conhecimento acerca do sistema ambiental físico é de fundamental importância para o desenvolvimento de atividades de gestão em uma determinada área (Christofoletti, 1979). De acordo com Crepani *et al* (1996) o comportamento dos sistemas ambientais pode ser avaliado a partir do princípio da ecodinâmica. Esse princípio foi proposto por Tricart (1977) e estabelece uma relação entre os processos morfo genéticos e pedogenéticos.

Mais recentemente, essas metodologias têm buscado aliar o conceito de ecodinâmica às potencialidades das imagens de satélite para estudos integrados da paisagem. Inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos nesse sentido (Crepani *et al*, 2001; Panquestor *et al*, 2002; Hermuche *et al*, 2003; Ferreira *et al*, 2007; entre outros). Além disso, um grande avanço vem ocorrendo nessa área em função do emprego dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que além de possibilitar a organização dos atributos espaciais, contribuindo para que os mesmos sejam alocados de modo que possam interagir e subsidiar análises dos padrões da paisagem; permite estabelecer relações entre os fatores ambientais e antrópicos e, conseqüentemente, orientar o assentamento e a distribuição das atividades humanas.

Marques & Pazzianotto (2004) aplicaram o método do custo de reposição de nutrientes, que, segundo os mesmos autores, associa diretamente alterações na qualidade do ambiente com aquelas ocorridas na produtividade dos fatores, no produto físico final da atividade econômica, resultando em modificações nos custos de produção e nas receitas obtidas pelas unidades econômicas que recebem os impactos ambientais. Portanto, o custo da reposição dos nutrientes perdidos é tomado como medida do valor econômico da erosão do solo agrícola. Os autores observam que os valores deste método refletem apenas uma pequena parcela dos danos ambientais causados pela erosão. De acordo com Rodrigues (2005), este é o método mais utilizado para mensurar o custo econômico da erosão.

Marques *et al* (1961) analisaram os custos econômicos da erosão a partir de talhões experimentais, analisando os efeitos sobre as perdas por erosão para tipo de solo, sistema de preparo de solo em uma cultura de milho, incorporação de matéria

orgânica em cultura de milho, rotação de culturas (algodão, soja e milho), uso do solo, tipo de cultura, comprimento de rampa, prática conservacionista em culturas anuais.

A partir da análise da erosão por uso do solo, os autores estabeleceram a perda de solo em ton/ha.ano, o valor dos nutrientes (N, P e K) contidos em forma assimilável na terra (ha.ano), o tempo gasto em anos para que ocorra o desgaste de uma camada de 15 cm de profundidade e a perda de água em porcentagem sobre a média de precipitação anual, observando desta forma, que o tipo de cultura e manejo influencia em maiores ou menores custos econômicos.



### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende a bacia do rio Jardim, que se situa entre as latitudes 15°40' e 16°02' e longitudes 47°20' e 47°40', ocupando uma área de aproximadamente 52.755,15 ha na porção leste do Distrito Federal (Reatto *et al*, 2000), conforme Figura 3.

As propriedades agrícolas na bacia são responsáveis pela produção da maior parte dos grãos (milho, soja, trigo e feijão) do Distrito Federal, de parte das hortaliças e das frutas, de carne bovina e de aves, e oleicultura (Emater, 2009a).

As águas do rio Jardim, após desaguarem no rio Preto, seguem pelo rio Paracatú até o rio São Francisco. Recebe águas do córrego Taquari, Carirú e Lamarão, além de trinta e um cursos d'água menores (Dolabella, 1996).

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS FISIográficas**

Segundo a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é do tipo “tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco”, caracterizado por duas estações bem definidas, sendo que a estação seca compreende o período entre os meses de maio a setembro, e a estação chuvosa compreende o período entre os meses de outubro a abril

Na estação chuvosa, ocorrem 90% do total anual de precipitação. Sendo que o maior índice pluviométrico é alcançado em janeiro, atingindo 244,8 mm. As chuvas diminuem aproximadamente 90% em maio, dando início à estação seca, que se prolonga até setembro. Os meses de junho a setembro são os de menor precipitação.

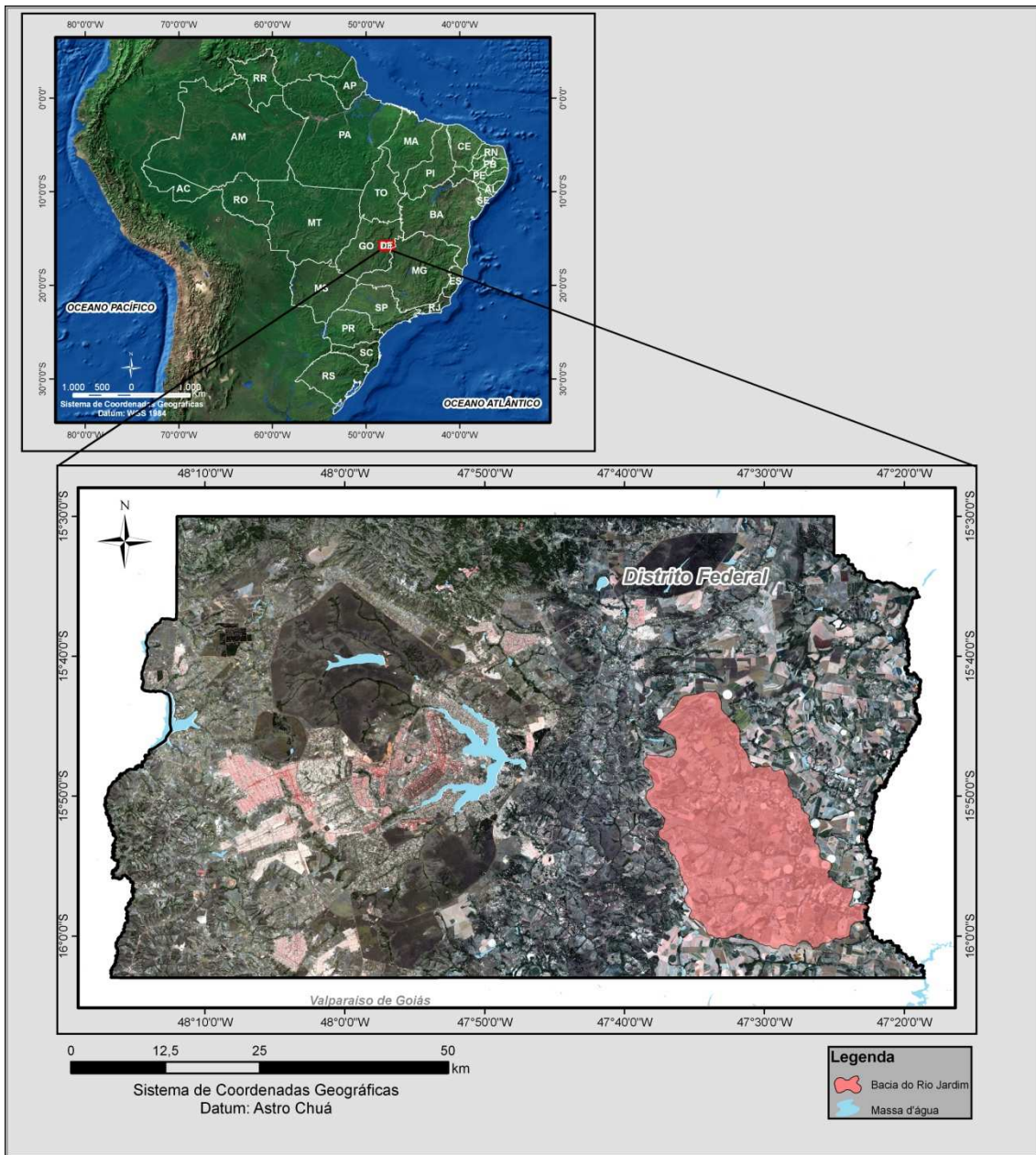


Figura 3 – Localização e Situação da Área de Estudo

O Distrito Federal localiza-se na porção central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, onde a transição entre as porções de maior e menor grau metamórfico apresenta uma estrutura complexa com superimposição de dobramentos com eixos ortogonais entre si (Marini *et al*, 1981; Campos, 2004).

A geologia do Distrito Federal é formada por quatro grupos geológicos, sendo duas de idade Meso/ Neoproterozóicas – Grupo Paranoá e Grupo Canastra, e duas de idade Neoproterozóica (Campos, 2004). A Figura 2 mostra os grupos geológicos da área de estudo, onde está inserida nas Unidades Metarritmito Argiloso e Unidade Quartzito Médio do Grupo Paranoá, e nas unidades geológicas do Grupo Canastra e Grupo Bambuí.

Em relação à geomorfologia como resultado dos aplainamentos oriundos dos ciclos de erosão Sulamericano e Velhas, o Distrito Federal localiza-se em uma das áreas de maior elevação do Planalto Central, correspondendo a um remanescente destes processos (King, 1956; Braun, 1971).

Na área de estudo é possível observar três unidades geomorfológicas descritas por Novaes Pinto (1986) e detalhadas por Martins (2000): a: Área de Dissecação Intermediária com 28.366,19 ha (53,64% da área da bacia); e Região de Chapada com 24.516,73 ha (43,36% da área da bacia)

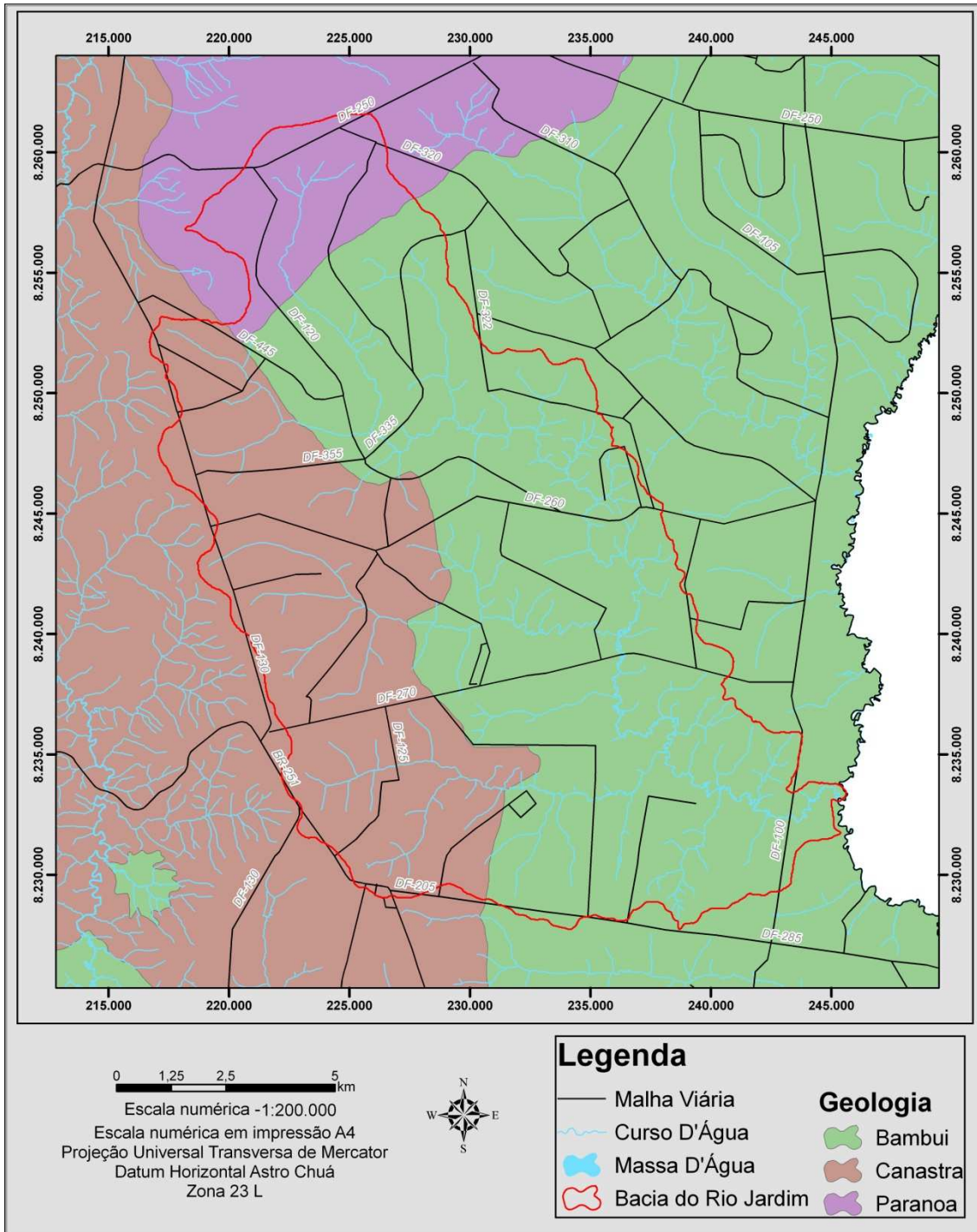


Figura 4 – Geologia da Área de Estudo (adaptado de CAMPOS. & SILVA., 1993)

As principais classes de solos que ocorrem na bacia do rio Jardim são: Latossolos, Nitossolos, Cambissolos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos (Reatto et al, 2000). Para essas classes, Spera et al (2002), descreveram também a aptidão agrícola das classes de solo. A Tabela 1 apresenta, de forma sucinta, a descrição das classes de solo encontrados na área de estudo. A Figura 5 representa o mapa de solos da bacia do rio Jardim.

**Tabela 1– Descrição das classes de solo da bacia do rio Jardim**

<b>Classe de solo</b>	<b>Descrição</b>
Latossolos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latossolos Vermelhos (LV) e Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA): textura argilosa a muito argilosa, acentuadamente drenados</li> <li>• Latossolos Amarelos (LA): textura média e argilosa; fortemente drenado.</li> <li>• Solos ácricos, distróficos, e álicos;</li> <li>• CTC: baixa a média;</li> <li>• pH: 4,8 a 7,0, onde os valores próximos à neutralidade encontram-se nos horizontes ácricos.</li> </ul>
Nitossolos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitossolos Vermelhos (NV): Textura muito argilosa, com horizonte B mais argiloso e estruturado do que o horizonte A;</li> <li>• Nitossolos Hápicos (NX): textura argilosa ou muito argilosa, com horizonte B mais argiloso e estruturado do que o horizonte A;</li> <li>• Moderadamente drenados;</li> <li>• Solos distróficos ou álicos;</li> <li>• CTC: baixa;</li> <li>• Apresentam-se principalmente sob a fitofisionomia Mata de Galeria</li> </ul>
Cambissolos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predominam os Cambissolos Hápicos Tb Distróficos (CXbd);</li> <li>• Profundidades variam entre 0,5 e 1,2 metros;</li> <li>• Textura argilosa a média, cascalhente;</li> <li>• Distróficos ou hálicos</li> </ul>
Plintossolos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocorrência de Plintossolos Hápicos (FX);</li> <li>• Horizonte A moderado com presença de plintita;</li> <li>• Limitação à permeabilidade de água e restrição ao enraizamento da vegetação está relacionada com a proximidade da plintita à camada superficial, quando for o caso;</li> <li>• Textura média a argilosa;</li> <li>• Drenagem imperfeita;</li> <li>• Permite a ocorrência de Campo Limpo Úmido de Cerrado.</li> </ul>
Gleissolos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleissolos Hápicos (GX): associada à Campo</li> </ul>

Classe de solo	Descrição
	<p>Limpo Úmido;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleissolos Melânicos (GM): associado à Mata de Galeria;</li> <li>• Textura: média a muito argilosa;</li> <li>• Solos distróficos,</li> </ul>
Neossolos Flúvicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neossolo Flúvico (RU): pouco evoluído, não hidromórfico, formado em depósitos aluviais;</li> <li>• Horizonte A seguindo uma sucessão de camadas estratificadas sem relação pedogenética entre si;</li> <li>• Não possui horizonte B diagnóstico;</li> <li>• Ocorre em relevo plano a suave-ondulado sob Mata de Galeria.</li> </ul>
Neossolos Quartzarênicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos distróficos e muito profundos;</li> <li>• Textura relacionada ao quartzito, seu material de origem;</li> <li>• Arenosa, com, no máximo, 5% de argila;</li> <li>• Solos excessivamente drenados com reduzida capacidade de retenção de água;</li> <li>• Ocorrem em área de relevo plano a suave-ondulado sob fitofisionomia Campo Sujo de Cerrado</li> </ul>
Neossolos Litólicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos eutróficos e rasos, com menos de 50 cm de profundidade;</li> <li>• Associados a Cambissolos e Afloramentos Rochosos;</li> <li>• Ocorrem sob a fitofisionomia Floresta Tropical Caducifólia</li> </ul>

Fonte: adaptado de Reatto *et al* (2000); Spera *et al* (1999); Spera *et al* (2002).



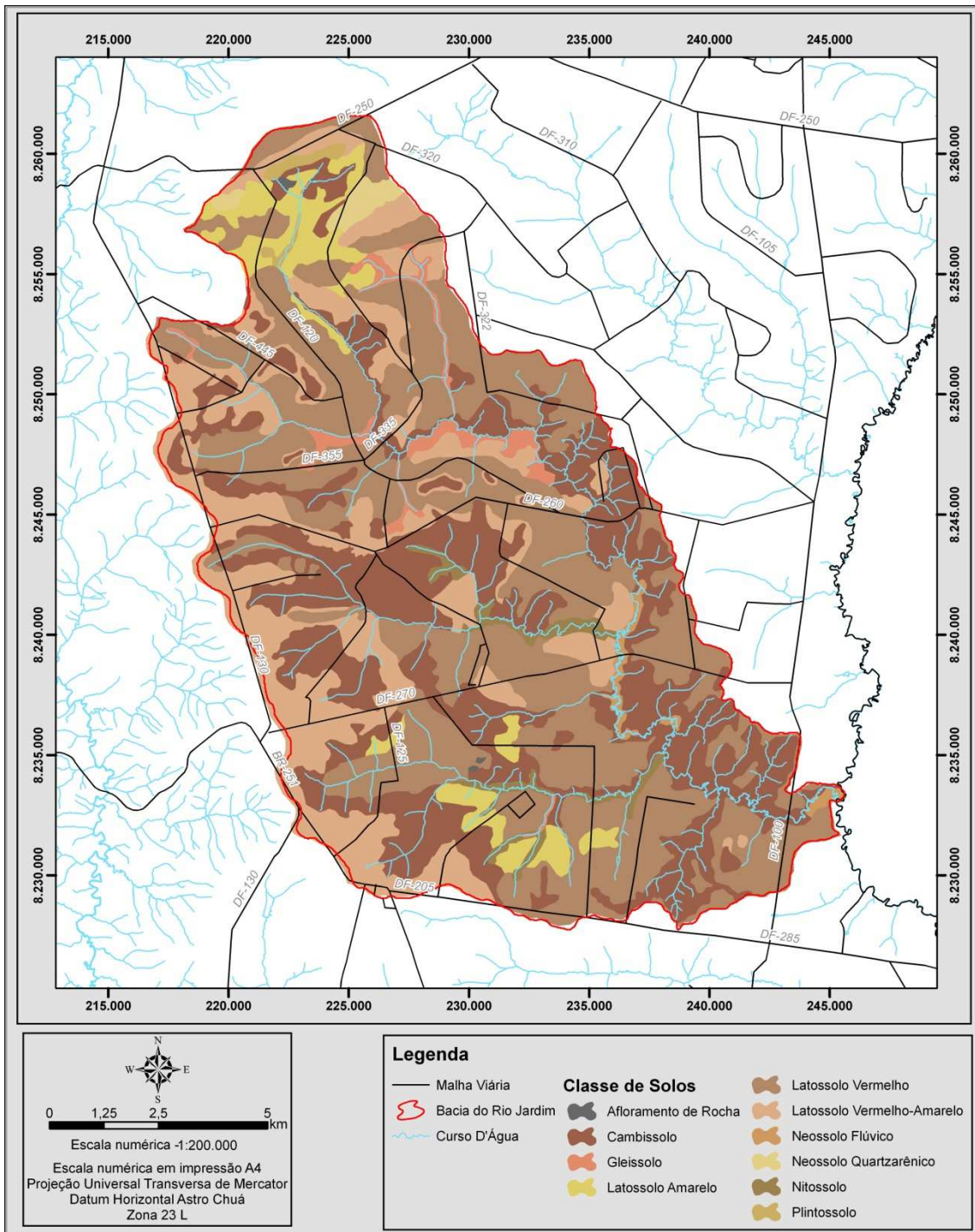


Figura 5 - Mapa de solos da área de estudo (Reatto et al, 2000)

### **3.2 ATIVIDADES AGRÍCOLAS**

A bacia do rio Jardim possui grande importância na agricultura do Distrito Federal, por prover grande parte de grãos e hortaliças – cultivadas na forma de agricultura de sequeiro ou irrigada – frutas, carne bovina e de aves, ovos e leite (Emater, 2009a).

A bacia está inserida em três áreas de atuação da Emater-DF, sendo estas: dois núcleos rurais – Tabatinga e Jardim, e o PAD/DF – Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal. A seguir, será descrito as características de cada uma dessas áreas, baseado na análise da Conjuntura Sócio-Econômica Rural das Regiões Administrativas Planaltina e Paranoá para os anos de 2006 a 2009, fornecidos pela Emater-DF. A Tabela 2 mostra as áreas de atuação da Emater-DF na área de estudo, e a Tabela 2 mostra um Quadro resumo das atividades produtivas nas diversas comunidades existentes na área de estudo.



**Tabela 2 – Principais atividades produtivas nas diferentes áreas de atuação da Emater-DF (adaptado de Emater, 2009a)**

Área de Atuação	Comunidade Agrícola	Atividade Produtiva
Núcleo Rural Tabatinga	Comunidade Rural Barra Alta	Bovinocultura
		Milho
	Colônia Agrícola Estanislau	Bovinocultura
		Olericultura
		Fruticultura
	Núcleo Rural Tabatinga	Produção de Grãos (soja, milho e feijão)
		Bovinocultura
Comunidade Rural São Gonçalo	Produção de grãos (soja, feijão)	
Núcleo Rural Jardim	Comunidade Rural Cabeceirinha	Bovinocultura
	Comunidade Rural Sussuarana	Bovinocultura
	Módulo C do PAD/DF	Produção de Grãos (feijão, trigo)
	Núcleo Rural Jardim	Produção de Grãos (soja, milho)
		Avicultura
		Suinocultura
		Bovinocultura
PAD/DF	Colônia Agrícola Capão Seco	Bovinocultura
	Colônia Agrícola Carirú	Hortaliças
		Bovinocultura
	Colônia Agrícola Lamarão	Bovinocultura
		Hortaliças
	Comunidade Rural Santo Antônio – Café sem Troco	Olericultura
	Setor de Chácaras Renascer	--
	Módulo D do PAD/ DF	Produção de grãos (soja, milho, feijão e sorgo)
	Módulo E do PAD/ DF	Produção de grãos (soja, milho, feijão e sorgo)
Módulo D do PAD/ DF	Avicultura	
	Produção de grãos (soja, milho)	

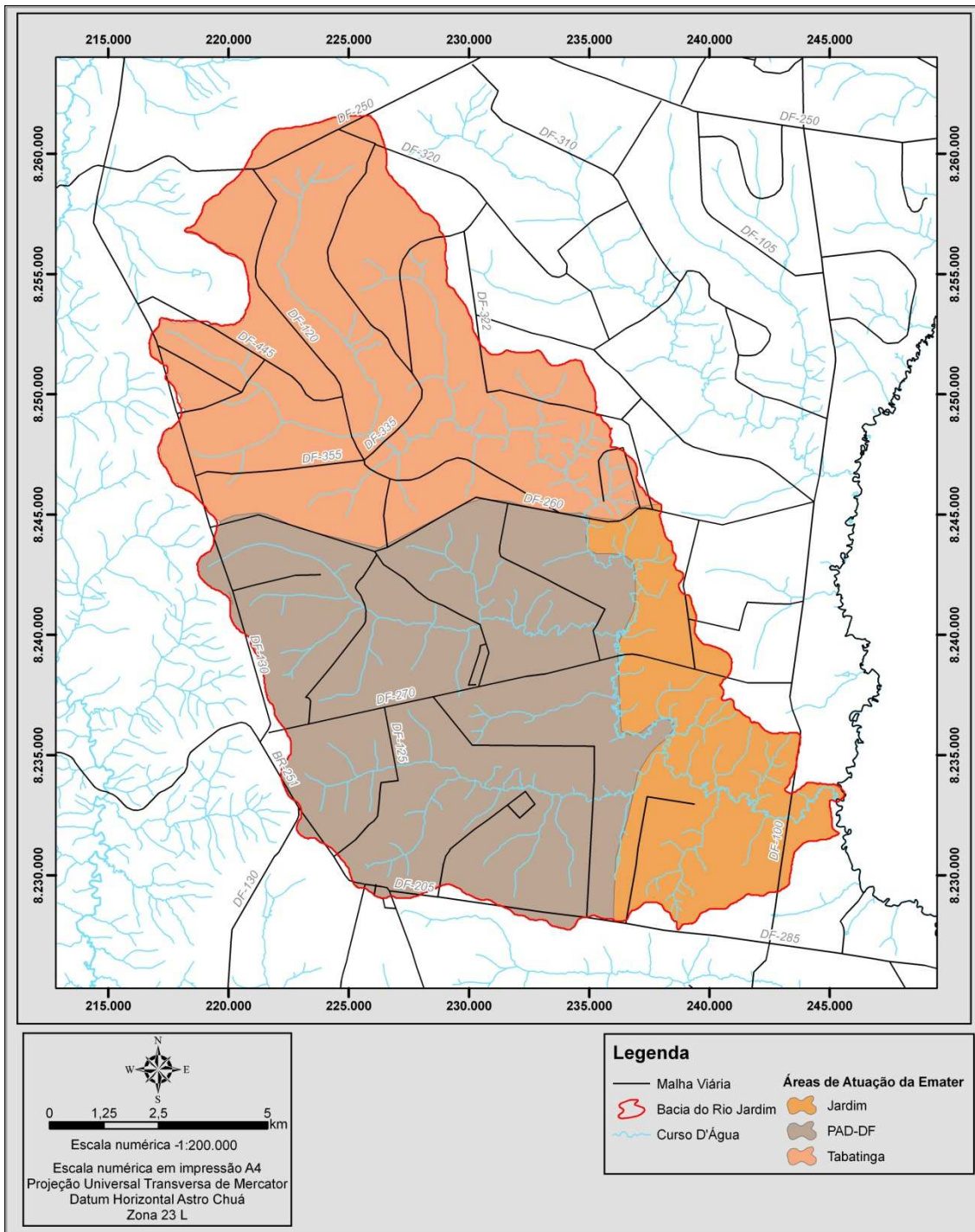


Figura 6 – Áreas de Atuação da Emater na Bacia do Rio Jardim

### 3.2.1 NÚCLEO RURAL TABATINGA

O Núcleo Rural Tabatinga localiza-se na área rural de Planaltina-DF. Formado em sua maioria por pequenas propriedades, caracteriza-se pela diversidade da produção, sendo ocupada por horticultura, fruticultura diversificada, produção de grãos, e está completamente inserida na bacia do rio Jardim (Emater, 2009a). As principais atividades produtivas são as culturas de milho, soja e feijão, conforme demonstrado na Tabela 3 que mostra o número de produtores envolvidos em determinadas atividades produtivas, não estando diretamente relacionada à quantidade produzida..

A produção de grãos na região representou 19,20% em relação ao Distrito Federal na safra de 2007/2008. As atividades produtivas na agricultura irrigada que merecem destaque são o feijão, o milho e o trigo, que produziram, nesta safra, 424 toneladas, ocupando uma área de 79,40 ha. As culturas permanentes ocupam área de 39,40 ha com uma produção de 254 toneladas, e as culturas temporárias ocuparam uma área de 14.615,50 ha atingindo a produção de 83.112 toneladas (Emater, 2008a).

A população, em 2007, de acordo com a Emater (2007), era de 1900 pessoas advindas de várias Unidades federativas, tais como Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraíba, entre outros.

**Tabela 3 – Principais Atividades Produtivas no Núcleo Rural Tabatinga (Emater, 2006 e 2007)**

<b>Atividade</b>	<b>Nº de produtores envolvidos na atividade</b>
Grãos	77
Olericultura	33
Fruticultura	20
Bovinocultura de Corte	5
Bovinocultura de leite	5
Bovino Misto	93
Psicultura	5
Ovinocultura	5
Avicultura	6
Cana-de-açúcar	19
Mandioca	31

As comunidades rurais presentes na região são: Barra Alta, Colônia Agrícola Estanislau, N.R. Tabatinga, e São Gonçalo. O número total de propriedades é de 270, sendo que a maioria encontra-se no N.R. Tabatinga.

### 3.2.2 NÚCLEO RURAL JARDIM

O Núcleo Rural Jardim, situada na área rural da Região Administrativa Paranoá, é atualmente ocupada por 218 propriedades com população estimada em 1.800 habitantes (Emater, 2008b). Neste núcleo rural estão presentes oito comunidades: Cabeceirinha, Colônia Agrícola Buriti Vermelho, Colônia Agrícola São Bernardo, Itapeti, Núcleo Rural Jardim, Sussuarana, e partes das áreas B e C do PAD-DF.

As características fisiográficas da região favorecem os cultivos de grãos, sendo que as culturas de soja e milho ocupam 80% do total da área de 14.050 ha ocupada pelas médias e grandes propriedades (Tabela 4). A produção é conduzida por 42 empreendedores (Emater, 2009b)

A olericultura é praticada por 73 empreendedores em uma área de 132 ha, onde as atividades são desenvolvidas com nível tecnológico intermediário em sistemas convencionais de produção. A fruticultura é explorada em uma área de 98 ha por 34 empreendedores, com destaque para a produção de limão; A floricultura é praticada por apenas um proprietário. Por fim, a atividade pecuária está sendo bastante praticada pelos agricultores familiares, sendo destaque a bovinocultura de leite (Emater, 2009b), conforme Tabela 4.

**Tabela 4 – Atividades produtivas no Núcleo Rural Jardim (Emater, 2008b e 2009b)**

<b>Atividade</b>	<b>Nº de produtores envolvidos na atividade</b>
Grãos	42
Olericultura	73
Fruticultura	34
Floricultura	1
Bovinocultura de leite	63
Bovinocultura de corte	7
Suínocultura	2
Ovinocultura	9

Especificamente na bacia do Rio Jardim, encontram-se as seguintes comunidades rurais: Cabeceirinha; Sussuarana; parte da Área C do PAD-DF; parte do Núcleo Rural Jardim.

### 3.2.3 ÁREA DO PROGRAMA DE ASSENTAMENTO DIRIGIDO DO DISTRITO FEDERAL - PAD/DF

Localiza-se na Região Administrativa do Paranoá, ocupando uma área aproximada de 43.680 ha, abrangendo os Módulos A, parte do Módulo B, Módulo D, Módulo E, e Módulo F do PAD/DF; além dessas, abrange também as comunidades rurais do Riacho Frio, Santo Antônio – Café sem Troco, Quebrada dos Neres, Colônia Agrícola do Carirú, Colônia Agrícola do Capão Seco, e Colônia Agrícola do Lamarão. Para este trabalho, foram consideradas apenas as comunidades inseridas na Bacia do Rio jardim.

Do ponto de vista das explorações econômicas na Área de Estudo, a maior parte da produção é de agricultura de sequeiro, tendo como destaque a soja, milho, feijão e sorgo, ocupando uma área de 8.000 ha. Dessa área, 560 ha da produção de milho, feijão e trigo é irrigada por pivô central. Já a pecuária mista ocupa uma área de 2.800 há de pastagens e, por fim, cerca de 120 ha da região é ocupada por produção de hortaliças diversas, irrigadas através de equipamentos de irrigação localizada (Emater, 2008b)..

## 4 METODOLOGIA

Para a estimativa do custo econômico da erosão na bacia hidrográfica, foram realizadas as seguintes etapas: (A) Elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT) e Mapas Derivados; (B) Estimativa da taxa de erosão atual; (C) Estimativa da taxa de erosão em ambiente natural da bacia; (D) Análise do custo de produção na Bacia do Rio Jardim; (E) Integração dos resultados e estimativa do custo econômico da erosão na Bacia. A Figura 7 mostra o fluxograma da metodologia adotada, mostrando todos os passos utilizados no presente trabalho.

Após a elaboração do MDT, foi feito o mapeamento do uso e cobertura do solo realizado a partir de imagens ALOS de 2008 e campanhas de campo. O produto gerado por estas etapas foi utilizado para estimar a taxa de erosão atual. Além destes, foi gerado, a partir do mapa de solos semi-detalhado da bacia do rio Jardim em escala 1:50.000 (Reatto *et al*, 2000), o mapeamento da vegetação primária da bacia afim de estimar a taxa de erosão em ambiente natural da área.

A análise do custo da produção, em R\$/ ha na bacia foi realizada a partir de dados da EMATER-DF, onde foi atribuído o custo médio que um agricultor terá para produzir alface, banana, batata, café, cenoura, feijão, limão, mandioca, milho, pastagem, pimentão, eucalipto, soja, sorgo, tomate e trigo. Para as áreas ocupadas por sistema de pivô central, foi considerado o somatório dos custos de implantação e operação do pivô e o custo da atividade produtiva sendo exercida nessas áreas.

Os resultados foram integrados em ambiente de SIG e realizada uma análise qualitativa do custo econômico da erosão na bacia.

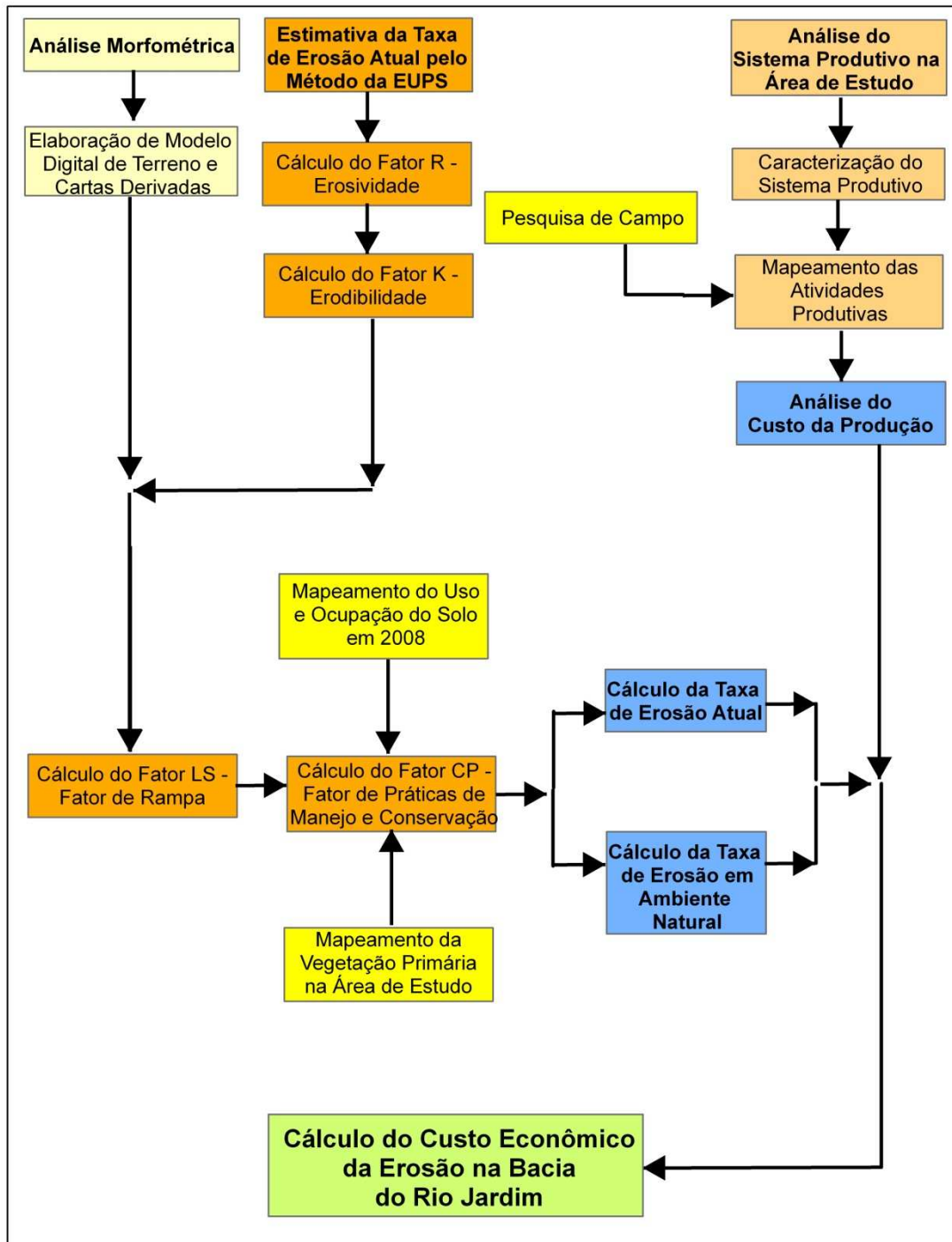


Figura 7 – Fluxograma da Metodologia

#### 4.1 ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO

A elaboração do MDT a partir da interpolação de dados topográficos serviu de base para as estimativas das taxas de erosão, calculadas a partir da EUPS. Com o MDT confeccionado, foram criados os mapas derivados.

Os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) estão relacionados à representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço (Hutchson, 1989). Segundo Câmara & Medeiros (1998), os MDT's geralmente estão associados à altimetria do terreno, porém, também são utilizados na modelagem de compartimentações geológicas, geomorfológicas, propriedades do solo ou aeromagnetismo.

A partir da interpolação de cartas topográficas em Escala 1:10.000, do SICAD, com as devidas correções (drenagens mal encaixadas, curvas de nível fechadas, pontos com cotas de valor errôneo, etc), foi gerado um MDT com pixel de 5 metros de lado utilizando o método TOPOGRID (Hutchson, 1989). A partir do MDT foram confeccionadas os mapas derivados de declividade e área de acumulação.

Para a elaboração do mapa derivado de área de contribuição, foi utilizado o método  $D_{\infty}$  proposto por Tarboton (1997), onde a direção do fluxo é calculada pela repartição do fluxo entre dois pixels, de acordo com o quão perto é o ângulo do fluxo em relação ao ângulo do vetor direção que aponta para o centro do pixel de acordo com o quão perto é o ângulo do fluxo está do ângulo direto para o centro do pixel. Segundo o mesmo autor, existe um certo nível de dispersão causado pela dosagem do fluxo entre os pixels à jusante, porém, esse efeito é minimizado uma vez que o fluxo não é proporcional entre mais de dois pixels na vertente.

## **4.2 ESTIMATIVA DA TAXA DE EROSÃO**

A seguir serão descritas as etapas realizadas para o cálculo da EUPS.

### **4.2.1 FATOR R**

Os dados de chuva utilizados para o cálculo do Fator R estão disponibilizados no Sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas - ANA. As estações utilizadas para o cálculo do Fator R foram: Barreiro DF 130; Cabeceiras; Colégio Agrícola; Fazenda Limeira; Formosa; Papuda DF18; Rio Preto; e Taquara. A Tabela 5 mostra os dados gerais de cada estação. A Figura 8 mostra a localização das estações em relação à Área de Estudo.



**Tabela 5– Características gerais das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator R**

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>NOME</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>UF</b>	<b>CIDADE</b>
1547021	Barreiro DF130	15°50'19"	47°37'38"	DF	BRASILIA
1546005	Cabeceiras	15°48'3"	46°55'29"	GO	CABECEIRAS
1547011	Colégio Agrícola	15°39'26"	47°51'47"	DF	BRASILIA
1647008	Fazenda Limeira	16°12'32"	47°13'57"	MG	CABECEIRA GRANDE
1547003	Formosa	15°32'56"	47°20'17"	DF	BRASILIA
1547012	Papuda DF18	15°57'33"	47°39'40"	DF	BRASILIA
1547022	Rio Preto	15°47'32"	47°25'58"	DF	BRASILIA
1547013	Taquara	15°37'56"	47°31'13"	DF	BRASILIA

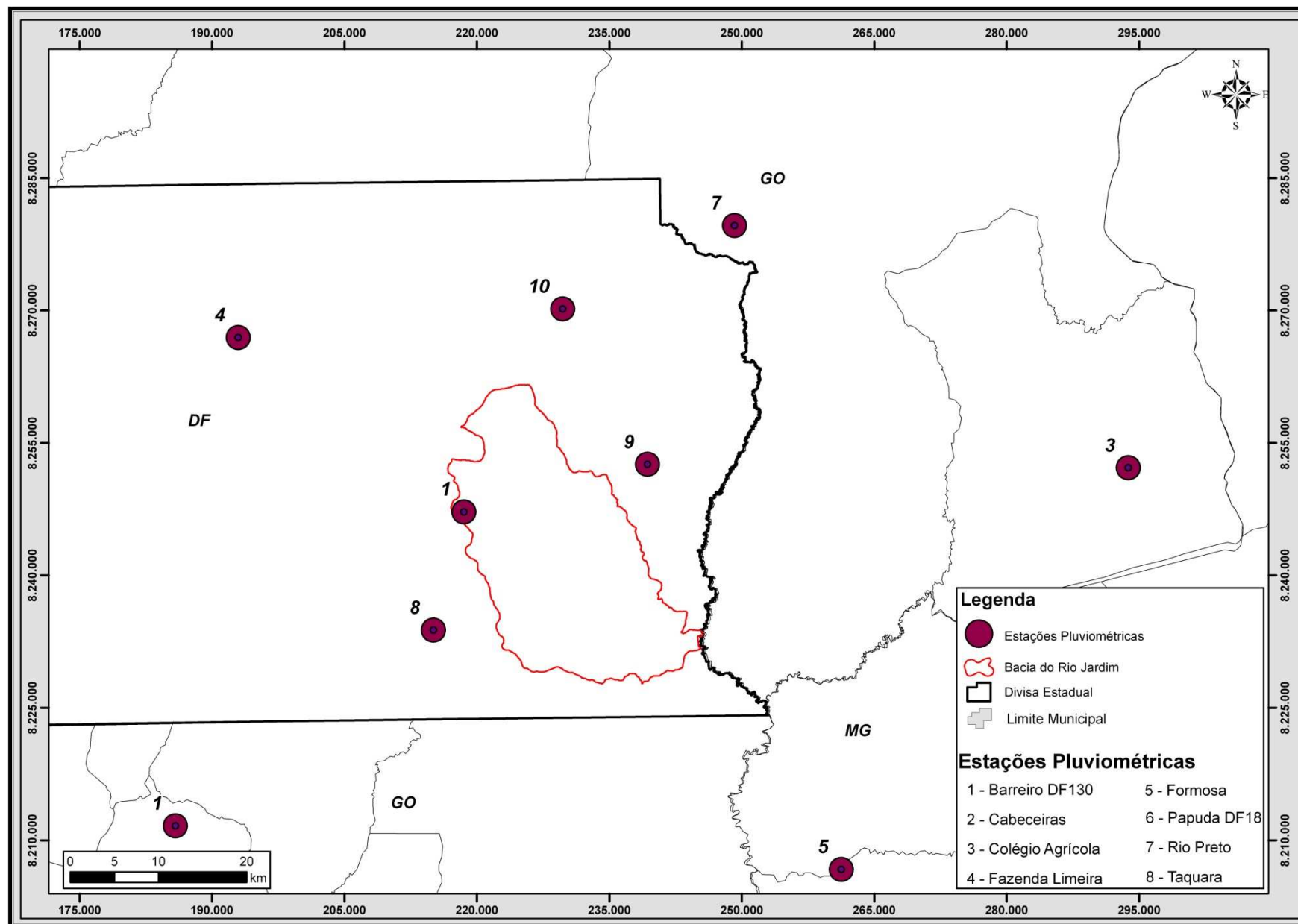


Figura 8 – Localização das Estações Pluviométricas

#### 4.2.2 FATOR K

A determinação de K foi feita tendo como base os dados das análises texturais realizadas por Reatto *et al* (2000). A partir do teor de argila contido no horizonte superficial de cada perfil analisado pelos autores, foi aplicado o método de Lima *et al* (2007) para estabelecer o valor de K, conforme demonstrado no capítulo 2.1 – Taxas de Perda de Solo, onde o autor demonstra a relação entre o teor de argila e a erodibilidade do solo, adaptando o método proposto por Denardin (1990) para o cálculo de K para os solos no alto da bacia do rio Jardim.

#### 4.2.3 FATOR LS

Para a determinação da área de contribuição, foi utilizado o método  $D_{\infty}$ , dado que este método é mais apropriado para esse estudo, pois permite um melhor detalhamento dos canais fluviais e da direção de fluxo, enquanto que o método D8 apresenta problemas principalmente com áreas planas (Farinasso *et al*, 2006)

#### 4.2.4 FATOR CP

Para se determinar as classes de uso e cobertura do solo, foi feito um mapeamento das mesmas, Foram utilizadas as imagens do satélite ALOS dos anos de 2008 do sensor PRISM, com resolução espacial de 2,5 metros. O sensor PRISM é composto por um conjunto de 3 sistemas de aquisição de imagem, denominado Triplet e, possui uma área de imageamento de 35 km no modo de observação estéreo e, de 70 km no modo em observação nadir (Tadono et al., 2004). Este sensor possui uma órbita circular heliossíncrona, uma altitude de 692 km e resolução temporal de 46 dias (ciclo) (Igarashi, 2001). A partir de imagens de alta resolução ALOS/PRISM, foi feita a primeira correção para adequar a posição da imagem de acordo com o norte geográfico, assim, foi possível mapear as classes de uso e cobertura do solo. A partir disso, adaptou-se os valores de CP adotados por Silva (2004) para a Bacia do Rio Paracatu, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6 – Valores do Fator CP (adaptado de Silva, 2004)**

<b>Classe de Uso e Ocupação do Solo</b>	<b>Fator CP</b>
Massa d'água/ Reservatórios	0,000
Área Urbana/ Sedes de propriedade	0,001
Mata de Galeria/ Cerradão	0,012
Cerrado/ Campos/ Vegetação sec.	0,042
Pastagem	0,025
Reflorestamento/ Barreiras de vegetação	0,012
Agricultura e áreas de pivô central	0,180
Solo exposto/ Mineração	1,000

### **4.3 ESTIMATIVA DA TAXA DE EROSÃO EM AMBIENTE NATURAL**

Spera *et al* (2005), a partir do mapa de solos semi-detalhado em escala 1:50.000 (Reatto *et al*, 2000), inferiu qual seria a vegetação primária na Bacia do Rio Jardim a partir da profundidade efetiva, textura, densidade do solo, capacidade disponível de água, e drenagem natural, tendo como base a descrição de Ribeiro & Walter (1998).

A partir dessa inferência realizada dos autores, essas informações foram organizadas em ambiente SIG, tendo como base o mapa de solos da bacia do Rio Jardim utilizando o mapa de solos elaborado por Reatto *et al* (2000), gerando, dessa maneira, o mapa de vegetação primária da bacia.

A partir do Mapa de Vegetação Nativa da Bacia do Rio jardim, utilizou-se os valores de R, K, e LS da bacia para calcular a EUPS referente ao ambiente natural da bacia.

### **4.4 ANÁLISE DO CUSTO DE PRODUÇÃO**

A partir da caracterização do sistema produtivo da área de estudo, foi feito o mapeamento dos tipos de produção e seus respectivos custos para associar os mesmo à distribuição espacial da erosão na bacia. Para tal, foi feito um levantamento dos custos das diversas atividades produtivas identificadas em campo.

A seguir serão apresentados na Tabela 7, tendo como base os dados fornecidos pela Emater (2010), e FAEG (2010), e Rodgheri (2006) o valor em R\$/ ha, para a

produção de: alface, banana, batata, café, cenoura, feijão, limão, mandioca, milho, pastagem, pimentão, reflorestamento, soja, sorgo, tomate e trigo.

Os dados utilizados como base são utilizados apenas como referência, dado que, cada propriedade terá suas particularidades que influenciarão no custo final da produção (Emater, 2010). Os preços, em sua maioria, foram contabilizados no Distrito Federal, com exceção do sorgo e do trigo, cujo preço foi extraído de FAEG (2010), referentes ao preço de Goiânia, dado que não havia um preço de referência para estas duas produções contabilizadas no Distrito Federal. Por fim, Rodgheri (2006) aponta o custo de produção para o reflorestamento.

**Tabela 7 – Custo da produção das diversas atividades produtivas na bacia do rio Jardim**

<b>Produção</b>	<b>Custo (R\$/ ha)</b>
Alface*	9.409,07
Banana*	23.991,13
Batata*	30.152,47
Café*	8.574,47
Cenoura*	8.308,00
Feijão*	2.653,88
Limão*	7,035,97
Mandioca*	3.100,20
Milho*	2.005,42
Pastagem*	1.462,94
Pimentão*	15.426,02
Reflorestamento***	2.069,6
Soja*	1.881,66
Sorgo**	550,11
Tomate*	33.803,17
Trigo**	2.077,29

Fonte: \* Emater, 2010; \*\*FAEG, 2010; \*\*\*Rodigheri, 2006

Para o cálculo do valor de implantação de um sistema irrigado por pivô central, foi adotado o método recomendado por Okawa (2001), que exemplifica o cálculo para um pivô de valor ( $V_i$ ) R\$ 138.000,00 que cobre uma área de 46 ha com potência de motor elétrico com 106 cavalo-vapor, operando 2000 horas anuais e apresentando uma vida útil de 20 anos. O método proposto pelo autor leva em conta os custos fixos (depreciação, juros sobre o capital e seguro); os custos variáveis (energia, reparos, manutenção, etc.) e, custo de operador. Estes custos elevarão em R\$33.740,00 o preço

para o empreendedor, conforme demonstrado na Tabela 8. Sendo assim, o valor de referência para a implantação do sistema de pivô central é de R\$171.740,00

O custo de operação foi considerado no cálculo do valor de implantação do pivô devido ao alto valor de operação. Além disso, foi considerado o mesmo tempo de uso e mesma vida útil do equipamento para todos os sistemas de irrigação na área de estudo. Assim, em uma área ocupada por pivô central, o custo da produção foi igual a soma do custo de implantação do pivô central e do tipo de produção daquela área.

**Tabela 8 – Cálculo do Custo de Operação de um Pivô Central (Adaptado de Okawa, 2001)**

<b>Custo Fixo (CF)</b>		
<b>Tipo de custo</b>	<b>Cálculo do custo*</b>	<b>Valor do custo</b>
Depreciação	$D = (Vi - Vs)/(Vu \times Tu)$	R\$ 2,76/ hora de funcionamento
Juros	$Tj = \{[(Vi + Vj)/2] / Vu\} / Tu$	R\$ 2,07 por hora no item de custo de produção relativo à remuneração do capital
Seguro	$Se = Vi \times 0,005$	R\$ = 690,00 (ou R\$ 0,35 por hora de funcionamento)
<b>Total</b>	<b><math>CF = D + Tj + S</math></b>	<b>R\$ = 5,18/ hora</b>
<b>Custos Variáveis (CV)</b>		
<b>Tipo de custo</b>	<b>Cálculo do custo*</b>	<b>Valor do custo</b>
Energia	$E = 80 \text{ kWh} \times R\$0,12/\text{Kwh}$	R\$ 9,24/ hora de funcionamento (evitando horários de pico)
Cota de consumo de Energia	$Cm = C / Tm$	R\$ 1,80/ hora de funcionamento
Manutenção	$M = Vi \times 0,005$	R\$ 690,00 (ou R\$ 0,35 por hora de funcionamento)
<b>Total</b>	<b><math>CV = E + Cm + M</math></b>	<b>R\$ 11,39 por hora de funcionamento</b>
<b>Operador (O)</b>		
<b>Tipo de custo</b>	<b>Cálculo do custo*</b>	<b>Valor do custo</b>
Salário	$O = \{[Sm + Es/Dt]/Ht\} / Tu$	R\$ = 0,35 por hora de funcionamento
<b>Custo de Operação (Co)</b>		
<b>Total</b>	<b><math>Co = (CF + CV + O) \times Tu</math></b>	<b>R\$ = 33.740,00 ( ou R\$ 16,87 por hora de funcionamento)</b>

\*Onde:  $D$  é a depreciação;  $Vi$  é o valor inicial do investimento (R\$);  $Vs$  é o valor de sucata (referente a 20% de  $Vi$ );  $Vu$  é a vida útil do equipamento (em anos);  $Tu$  é o tempo de uso do equipamento (em horas anuais);  $Tj$  é a taxa de juros sobre o capital;  $Vj$  é o valor dos juros (fixado em 6%);  $Se$  referente ao seguro;  $E$  é o gasto com energia;  $Cm$  é a cota mensal de energia a ser pago para a companhia energética;  $C$  é a base de cálculo da cota mensal;  $Tm$  é o tempo de funcionamento médio mensal do equipamento; e  $M$  é o custo com manutenção.

O mapeamento das atividades produtivas na área de estudo foi realizado a partir do cruzamento das informações obtidas em campo com o mapeamento feito a partir das imagens ALOS.

As campanhas de campo foram realizadas nos dias 11/12/2010 e 18/12/2010, onde foi feito o trajeto das rodovias DF-120, DF-260, DF-100, DF-270, DF-355, parte da DF-322, parte da DF-120, parte da DF-385, e parte da DF-130. Ao longo das rodovias, foram cadastradas as diferentes atividades produtivas em pontos de GPS.

A partir das informações coletadas em campo foi feito uma comparação com a imagem ALOS de 2008, para poder inferir quais atividades produtivas ocorriam neste ano. Feito o mapeamento, foi atribuído o custo monetário da produção para cada área produtiva demarcada.

#### 4.5 ANÁLISE DO CUSTO ECONÔMICO DA EROSÃO

Se tomarmos em conta que a erosão do solo é um importante indicador de manejo inadequado em áreas agrícolas, e que, o solo perdido representa prejuízo para o agricultor, é possível chegar a uma estimativa de quantas toneladas de solo serão perdidas por hectare ao ano para cada unidade monetária investida, chegando assim, ao custo econômico da erosão da área estudada através da Equação [11]:

$$Cps = \frac{EUPS_{atual} - EUPS_{natural}}{(CI)} \quad [11]$$

**Onde:**

Cps – Custo Ambiental por Perda de Solos (ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)/Unidade Monetária)

EUPS – Equação Universal de Perda de Solos (ton/ha.ano)

CI – Custo de Implantação (em Unidade Monetária)

A partir da Equação 11, foi elaborado o Mapa do Custo Econômico da Erosão. Para tal, o resultado foi dividido em cinco classes de interpretação a partir da análise qualitativa referente às taxas de perda de erosão, conforme demonstrados na Tabela 15. Para este cálculo só foram consideradas as classes de uso equivalente à produção agrícola e pecuária, desconsiderando as demais atividades da área de estudo por envolverem outras variáveis.

**Tabela 9 – Classes de Interpretação para o custo econômico da erosão na bacia do rio Jardim**

<b>Valor (ton.ha.<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)/R\$)</b>	<b>Classe de Interpretação</b>
0,00	Nulo
Entre 0,00 e 0,00050	Muito Baixo
Entre 0,00050 e 0,0020	Baixo
Entre 0,0020 e 0,0060	Moderado
Acima de 0,0060	Alto
Uso e Ocupação do Solo Diversos	--



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO

A partir da interpolação dos dados, obteve-se o modelo digital de terreno (Figura 9). Verifica-se que a elevação da bacia varia entre 822,63 e 1179,08 metros, onde as maiores altitudes ocorrem a oeste e norte, diminuindo abruptamente nas bordas da chapada. Já no mapa de declividade (Figura 10), gerado a partir do MDT, verifica-se que os maiores declives ocorrem ao longo dos canais de drenagem e bordas de chapada.

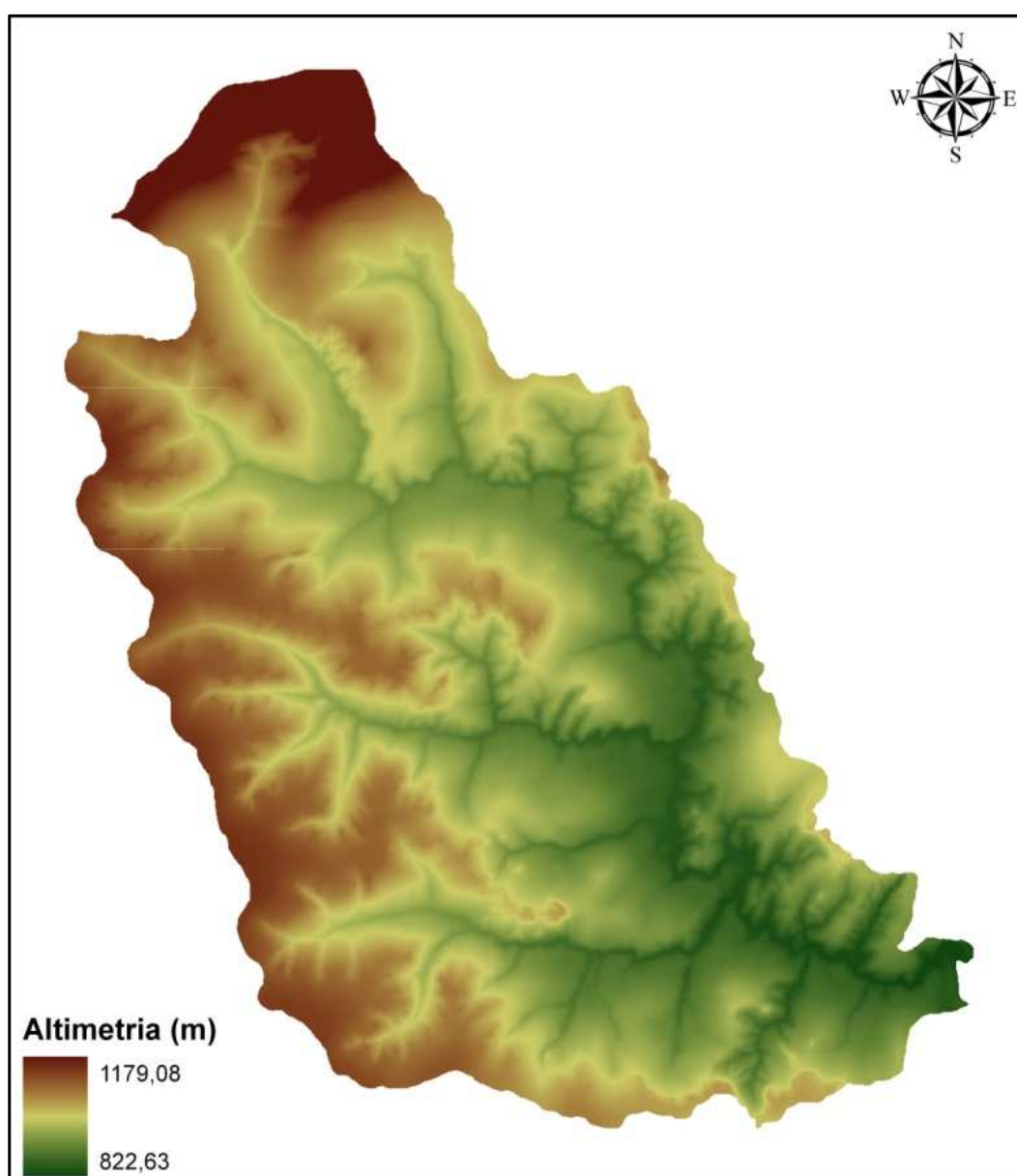


Figura 9– Modelo digital de terreno da área de estudo

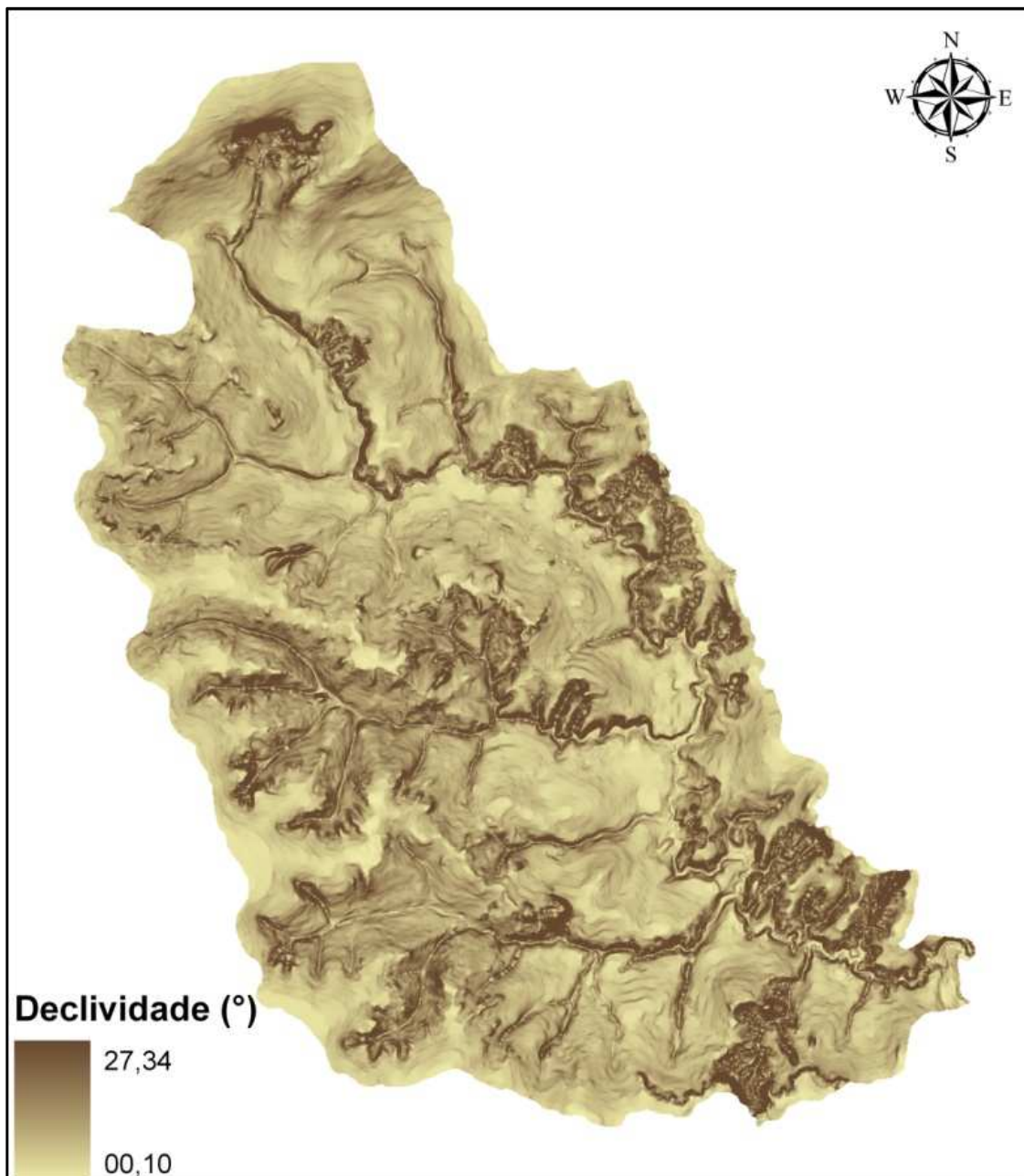


Figura 10 – Mapa de declividade da área de estudo

## 5.2 PARÂMETROS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS

### 5.2.1 FATOR R

Conforme a Figura 11, as médias anuais totais variam entre 1295 e 1517 mm. A Figura 12 mostra o fator R para cada estação, onde os maiores valores são das estações Cabeceiras e Barreiro-DF130. Esta última apresenta um grande fator R devido à amplitude de precipitação entre o período mais seco e o mais chuvoso.

Na Figura 13, podemos ver a distribuição espacial do fator R na área de estudo, onde é possível observar um maior valor de R no alto da bacia do rio Jardim, variando entre 8.438,78 e 9.036,71 MJ.mm/ha.h.ano. Já a região do baixo rio Jardim, apresenta um fator R variando entre 6.970,18 e 7.578,60 MJ.mm/ha.h.ano.

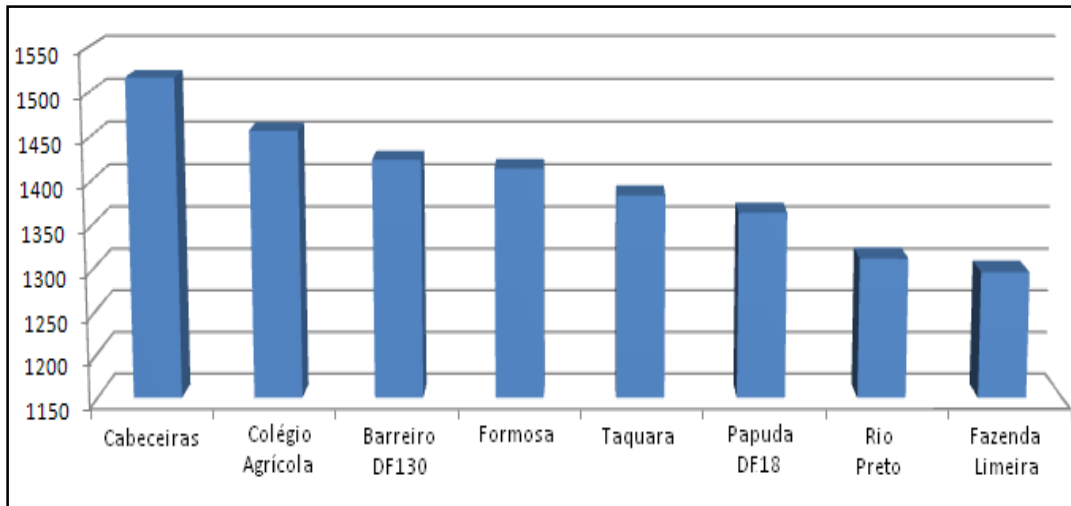


Figura 11 – Gráfico de precipitação média anual total (mm) por estação pluviométrica.

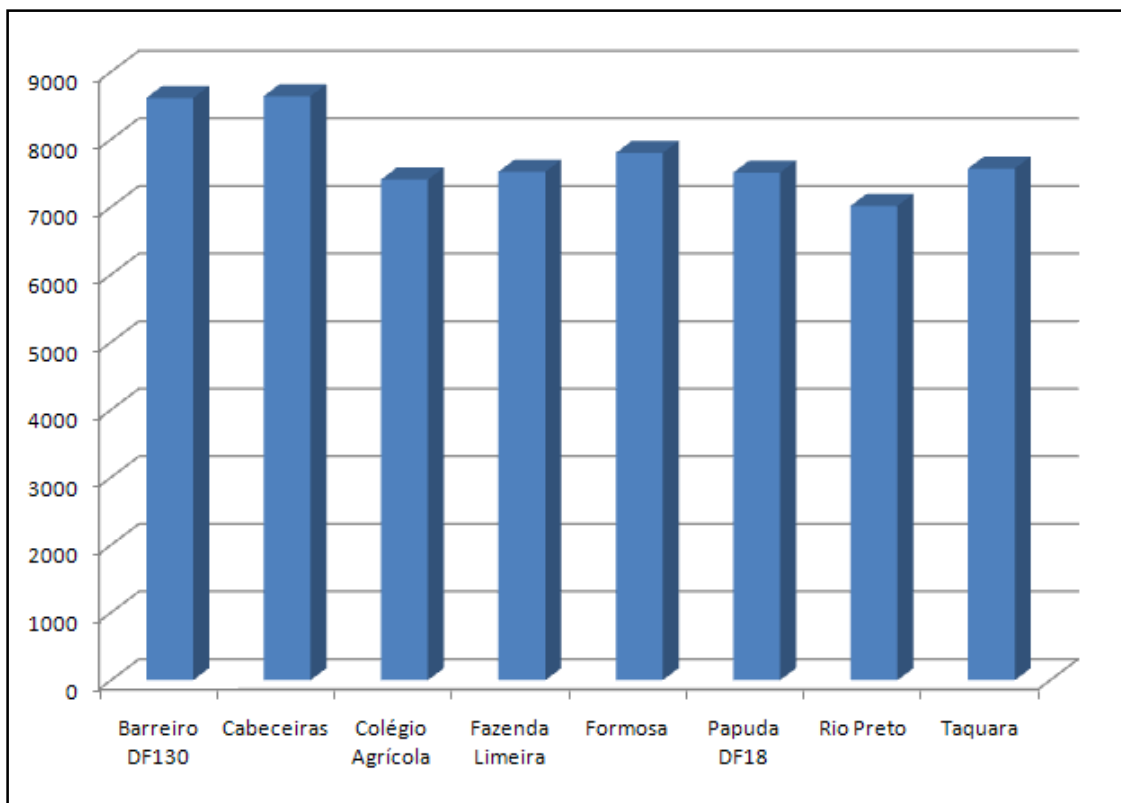


Figura 12 – Fator R calculado para cada estação pluviométrica

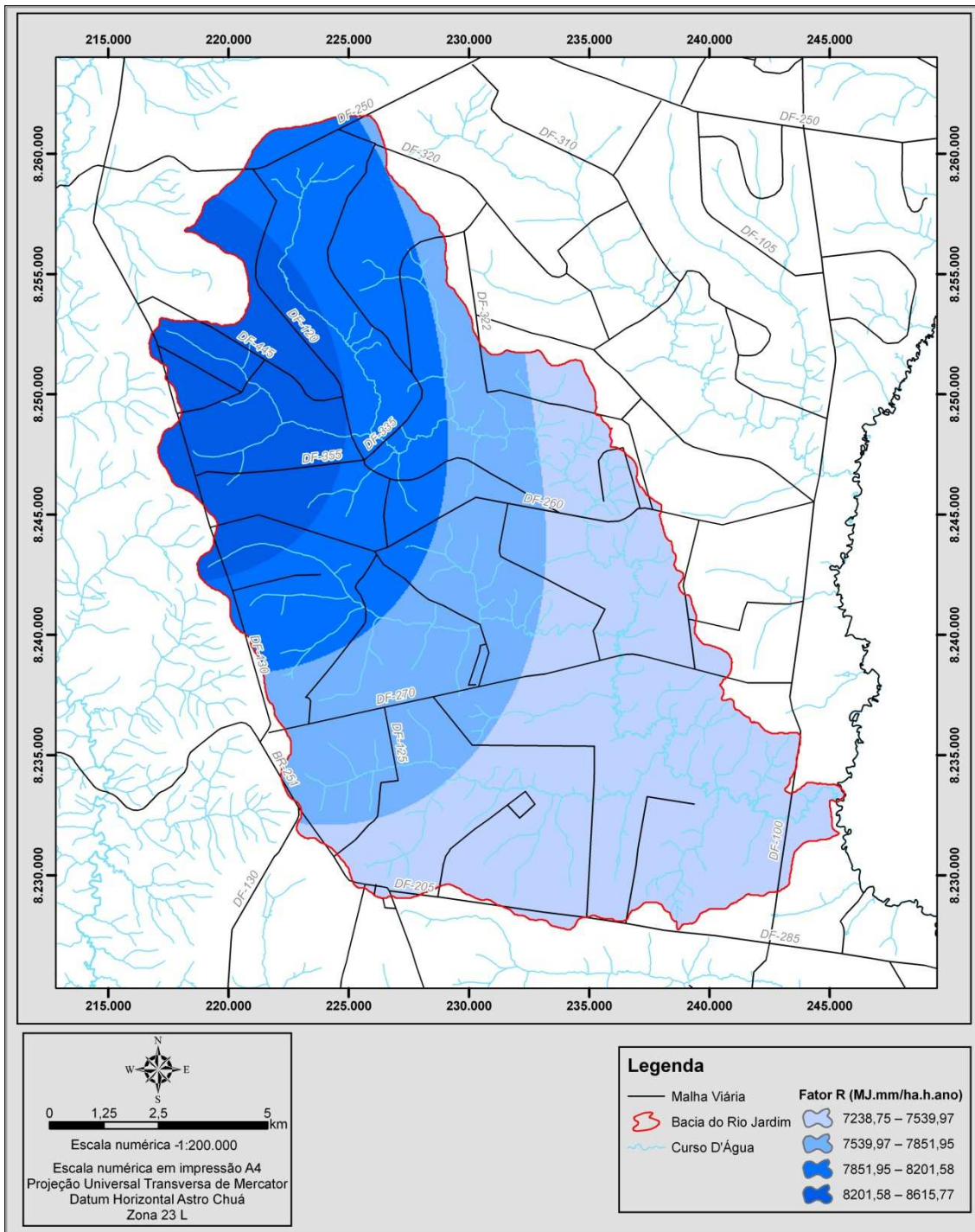


Figura 13 - Mapa de Erosividade da Chuva na Bacia do Rio Jardim

### 5.2.2 FATOR K

O fator K foi obtido através do método proposto por Lima *et al.*, (2007) aplicado na bacia do rio Jardim, com base no mapa de solos (Figura 5) elaborado por Reatto *et al.*, (2000). A obtenção do valor K para cada classe de solo foi calculado individualmente, a partir dos teores de argila (conforme definido na metodologia) das amostras analisadas no mapeamento da área.

Para o cálculo do fator K das classes de solo que possuíam poucas amostras (Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos, e Plintossolos) foram realizadas médias aritméticas, das amostras de cada solo (Tabela 10). Nas outras classes de solos foi utilizado o método de interpolação *Topogrid* para a determinação do fator K de cada solo. Para os afloramentos de rocha atribuiu-se valor de K nulo.

**Tabela 10 – Valor K para as classes dos Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos e Plintossolos calculados a partir do teor de argila dos perfis analisados por Reatto *et al* (2000).**

Classe de Solo	Valor de K (ton.ha.h.MJ <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
Neossolos Flúvicos	0,005031
Neossolos Quartzarênicos	0,005191
Gleissolos	0,004820
Plintossolos	0,005790
Afloramento de Rocha	0,000000

A Figura 14 mostra a distribuição espacial da erodibilidade dos Latossolos e Nitossolos na área a partir da interpolação dos valores de K dos trinta e oito perfis analisados, cujos valores variam entre 0,004006 e 0,005283 ton.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, apresentando uma média de 0,004490 ton.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. O pico de erodibilidade ocorre em área de Latossolo Amarelo, devido à baixa porcentagem de argila no perfil analisado (30%).

Os Cambissolos, apresentaram uma variação de K entre 0,004489 a 0,005536 ton.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, com valor médio de 0,004797 ton.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. A Figura 15 mostra a distribuição espacial de K obtida a partir da interpolação entre os dez perfis analisados..



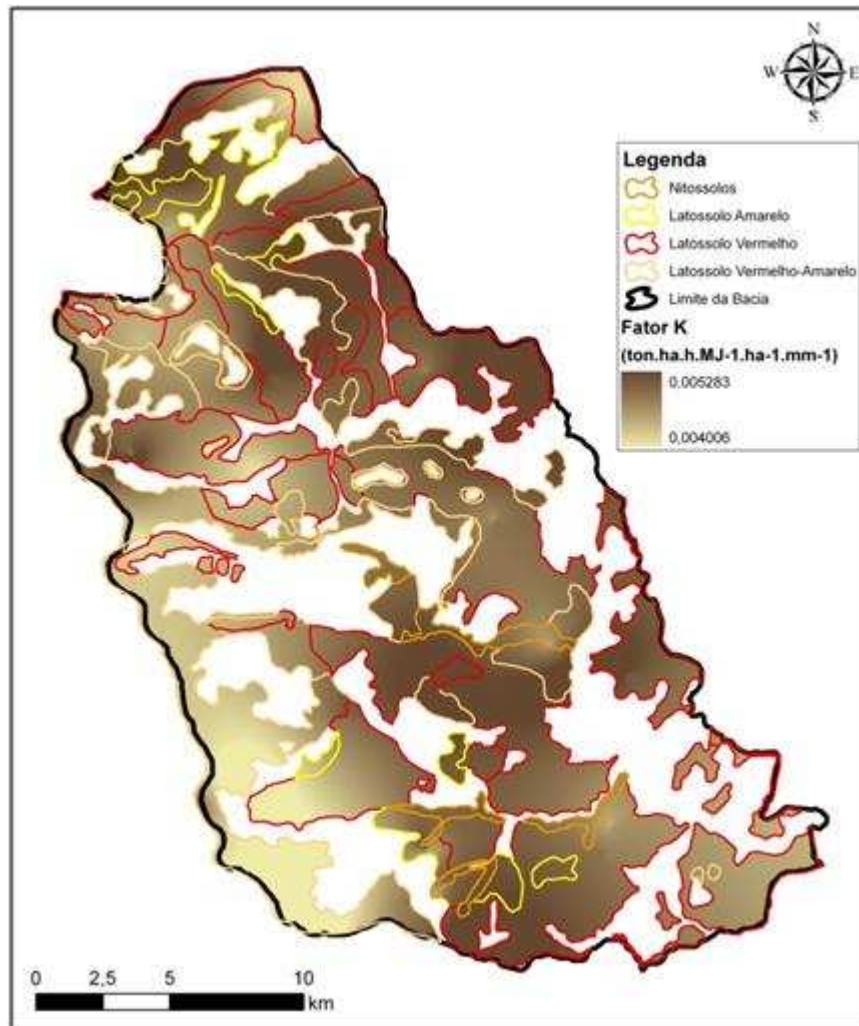


Figura 14 – Distribuição dos valores de K para os Latossolos e Nitossolos na área de estudo

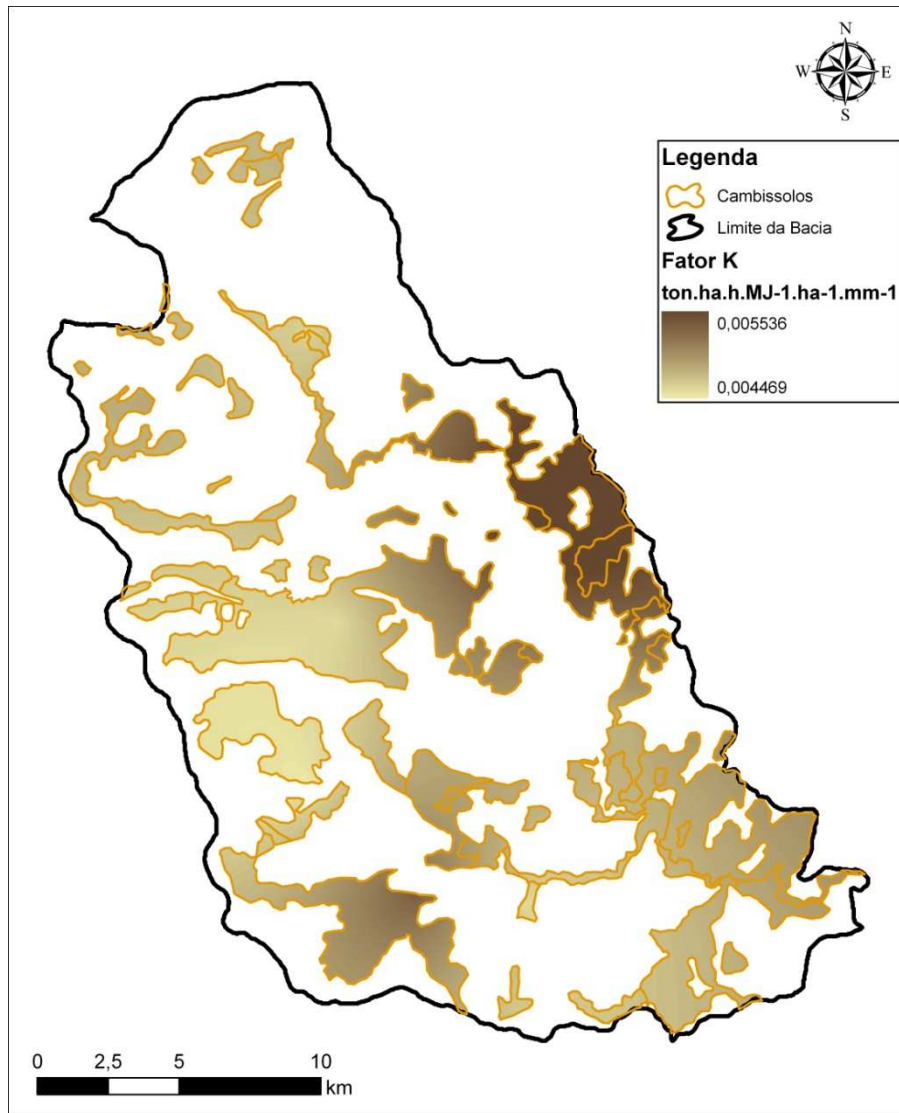


Figura 15 Distribuição dos valores de K para os Cambissolos na área de estudo

A partir dos resultados obtidos, foi gerado um único mapa onde podemos observar que os solos mais erodíveis são os Plintossolos, apresentando K igual a  $5,79 \times 10^{-3}$  ton.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> por apresentar o menor teor de argila no perfil analisado (14%). Já a classe de solo com menor erodibilidade, na bacia do rio jardim, foram os Latossolos e Nitossolos, apresentando valor médio de  $4,49 \times 10^{-3}$  ton.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> (Figura 16).

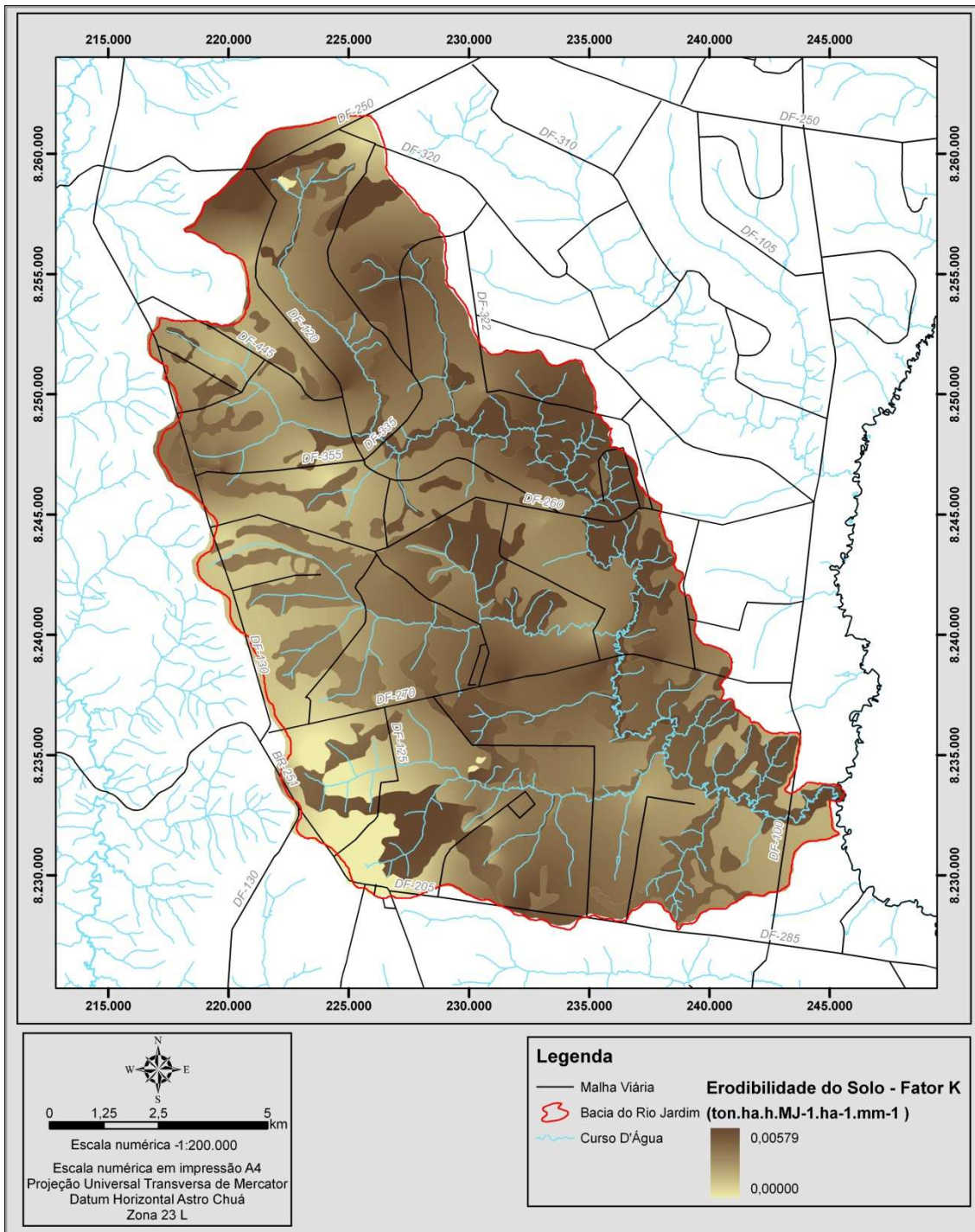


Figura 16 – Fator K da Área de Estudo



### 5.2.3 FATOR LS

O Fator LS da área de estudo, conforme é demonstrado na Figura 17. Os valores aproximadamente nulos localizam-se nos interflúvios e topos de chapada. Já os valores mais altos, aproximadamente 6,4, localizam-se próximos dos cursos de água e cabeceiras de drenagem, dado que estas áreas são mais dissecadas.

A norte da rodovia DF-355, o valor de LS varia entre valores aproximadamente nulos e 5,1. A sul da rodovia DF-270, o valor de LS varia entre valores aproximadamente nulos e 6,4. Entre as duas rodovias, o valor de LS varia entre valores aproximadamente nulos a 3,8.

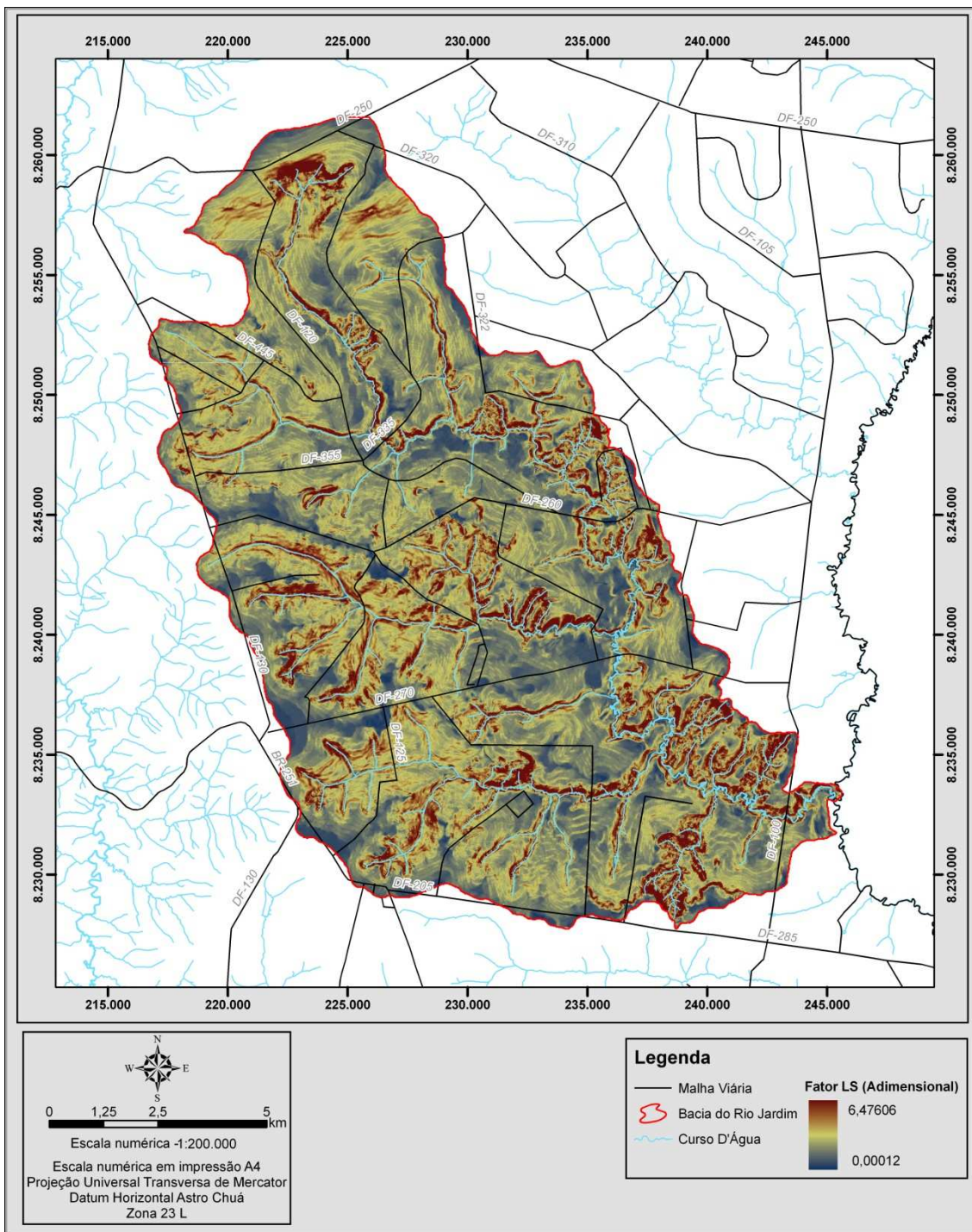


Figura 17 – Fator LS da área de Estudo

#### 5.2.4 FATOR CP

A partir da interpretação visual da imagem ALOS, foram identificadas 13 classes de cobertura do solo, sendo que a que ocupa a maior área é a de Agricultura e usos diversos, com 37.279,28 ha. Foram identificadas 41 áreas de pivô central e 637 sedes de propriedades, ocupando uma área de 2.912,79 ha e 507,88 ha, respectivamente. Importante destacar, que a área de solo exposto e atividades mineradoras eram em 2008, de 106,85 ha e de 105,63ha (Tabela 11, Figura 18 e Figura 19).

**Tabela 11 – Valores de CP e suas respectivas áreas (Silva, 2004)**

<b>Classe de Uso</b>	<b>CP</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>
Massa d'Água	0,000	91.473,14	9,15
Piscicultura	0,000	1.451,01	0,15
Reservatório	0,000	463.278,55	46,33
Infraestrutura Agrícola	0,001	151.124,88	15,11
Sedes de Propriedade	0,001	4.833.306,04	483,33
Vila/Povoado	0,001	184.241,10	18,42
Cerradão/ Mata de Galeria	0,012	55.439.538,94	5.543,95
Reflorestamento/ Barreira de Vegetação	0,012	3.951.943,12	395,19
Pecuária	0,025	77.487.051,38	7.748,71
Cerrado/ Campos de Cerrado/ Vegetação Secundária	0,042	66.659.606,53	6.665,96
Agricultura	0,180	286.315.419,43	28.631,54
Pivô Central	0,180	29.127.934,13	2.912,79
Atividade Mineradora	1,000	1.056.340,45	105,63
Solo Exposto	1,000	2.729.127,90	272,91

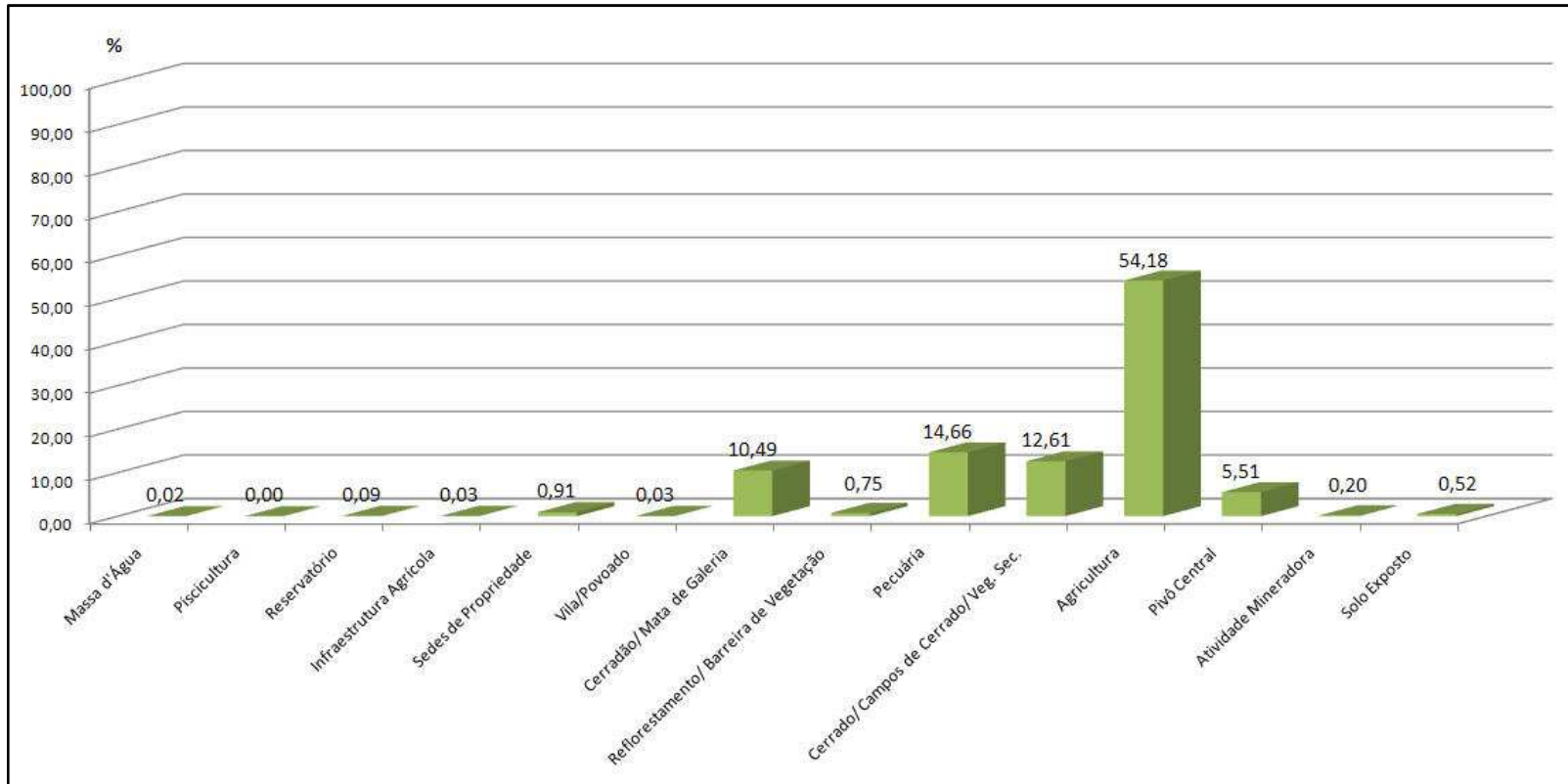


Figura 18 – Distribuição das classes de uso na bacia do rio Jardim

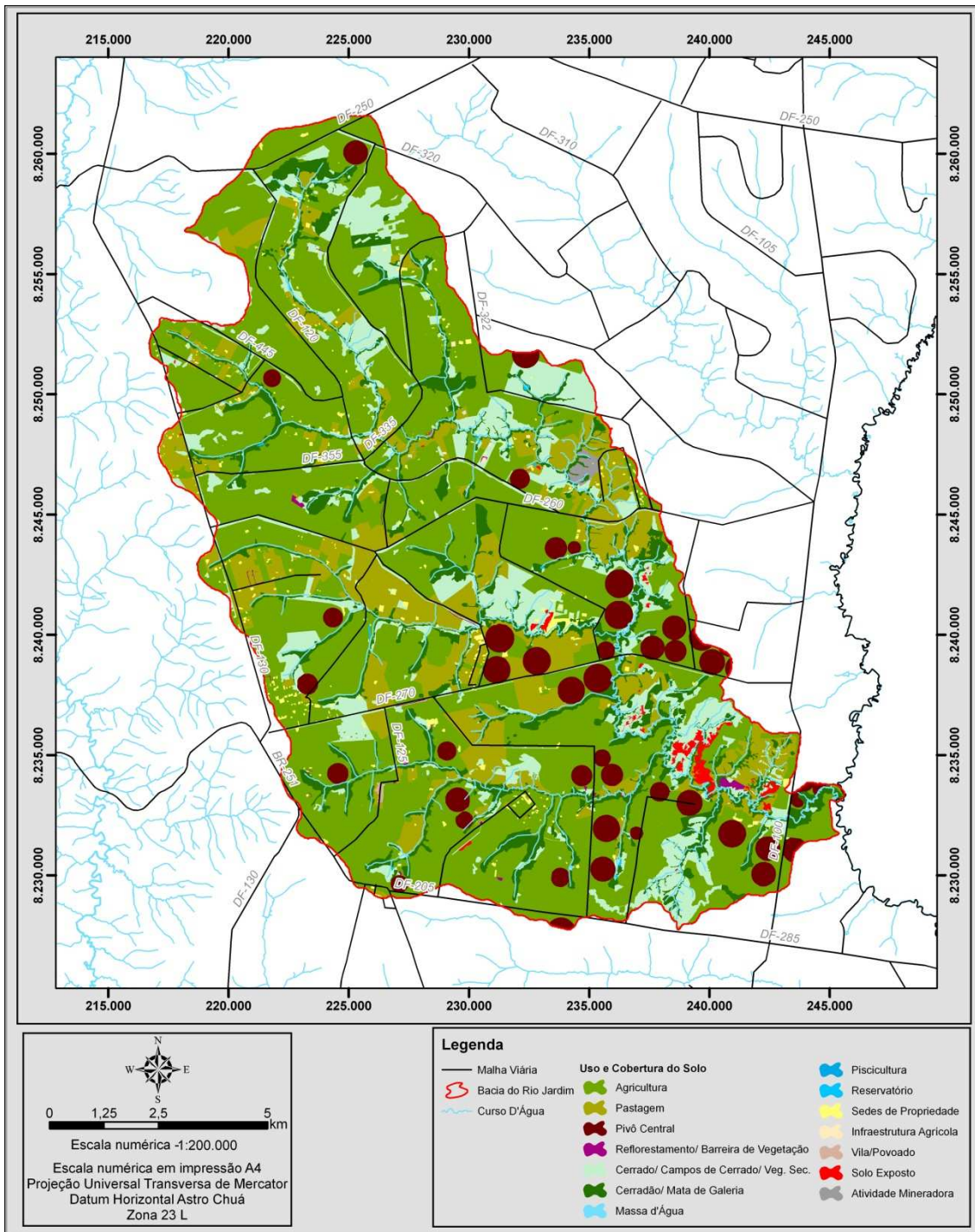


Figura 19 – Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2008

### 5.3 TAXA DE EROSÃO EM 2008

De acordo com Mata (2009), “a erosão atual corresponde à estimativa de solo quando submetidos a distintos tipos de uso e manejo do solo”. A redução das taxas de erosão dependem de modificações de manejo, rotação de culturas, sazonalidade de chuvas, fases do ciclo vegetativo, entre outros. A taxa de erosão é o resultado do produto entre os fatores R, K, L, S, C e P (Equação 1).

A Figura 20 mostra que a taxa de erosão, para o ano de 2008, variou entre 0,033 e 30,00 ton/ ha.ano. Em áreas isoladas, relacionadas às áreas de solo exposto e atividades mineradoras, a taxa de erosão pode alcançar em torno de 104 ton/ ha.ano. Nas áreas de afloramento rochoso, essa taxa é nula.

Nota-se que existe uma diferença brusca entre as regiões do Alto, Médio e Baixo Jardim. Na região do Alto, onde o relevo é mais movimentado, as taxas de erosão são maiores. Já no Médio Jardim, predomina baixas taxas de erosão, devido ao relevo mais suave. Por fim, na região do Baixo Jardim, a diferença entre os topos, onde ocorre as maiores taxas de erosão e os fundos de vale, de terreno mais suave, é bem evidente (Figura 20).



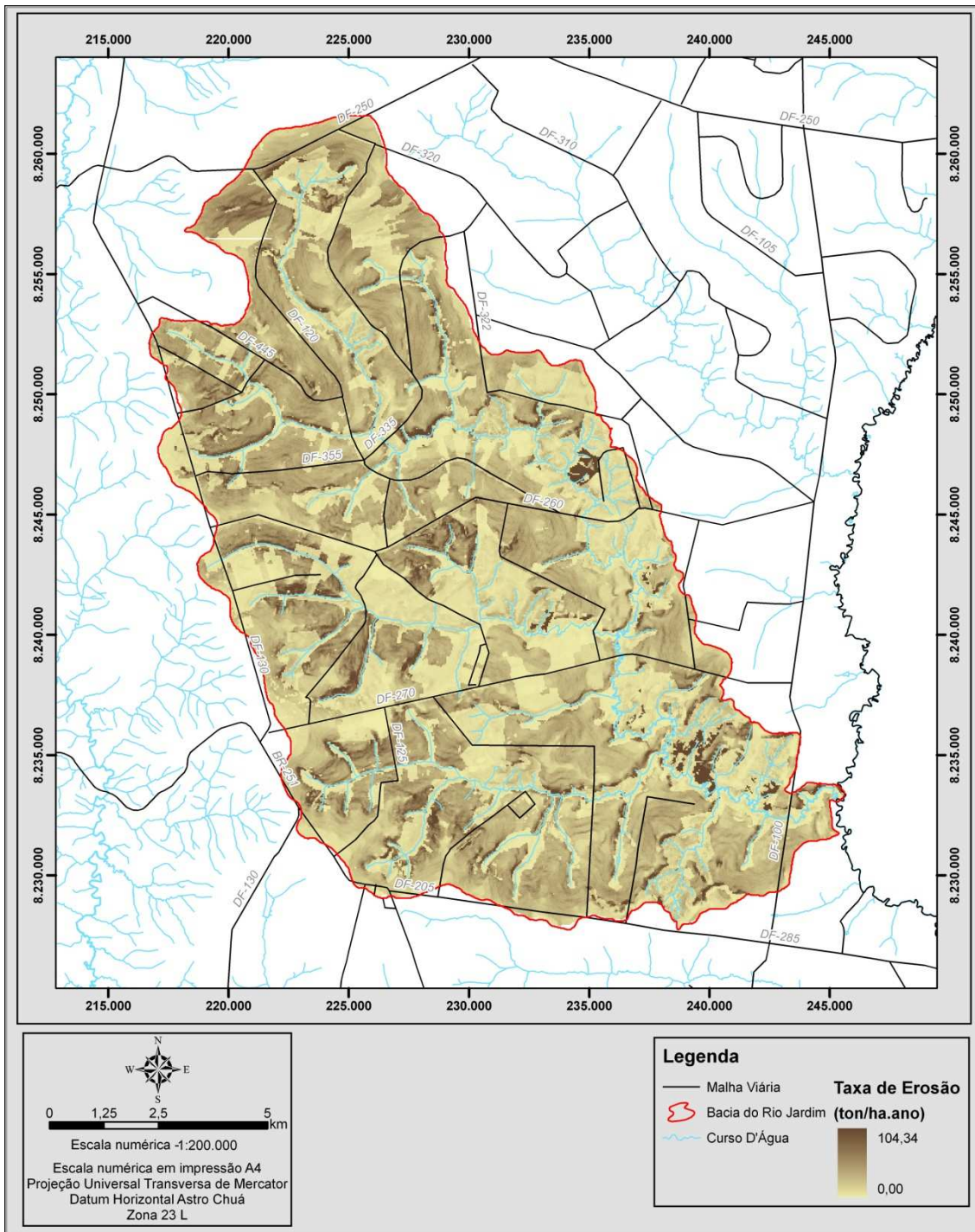


Figura 20 – Taxa de erosão na bacia do rio Jardim para o ano de 2008

#### 5.4 ESTIMATIVA DA TAXA DE EROSIÃO EM AMBIENTE NATURAL DA BACIA

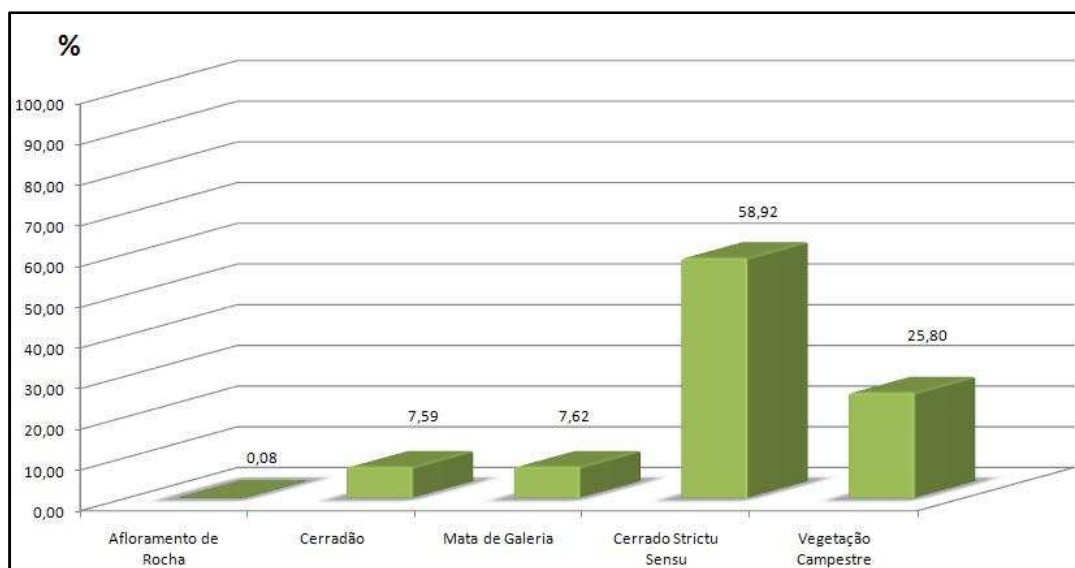
A partir do estudo apresentado por Spera *et al* (2005), inferiu-se, através do mapa de solos elaborado por Reatto *et al* (2000), a vegetação primária na área de estudo (Figura 21 e Figura 22).

O Cerradão ocupa 4.010,69 ha, e está relacionado aos Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelhos. As Matas de Galeria estão relacionados aos fundos de vale, ocupando uma área de 4.026,46 ha e sua ocorrência está relacionada aos Cambissolos, Gleissolos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Flúvicos, e Nitossolos. O Cerrado *Strictu Sensu* ocorreu na maior parte da bacia, ocupando 31.136,21 ha e sua ocorrência está associada aos Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos, e Cambissolos. Por fim, as Vegetações Campestres, que englobam os Campos Limpos de Cerrado, Campos Sujos de Cerrado e Campos Úmidos de Cerrado ocuparam, em sua fase primária, 13.633,96 ha e sua ocorrência está relacionada com os Cambissolos, Gleissolos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Quartzarênicos, e Plintossolos (Tabela 12 e Figura 21).

**Tabela 12 – Fitofisionomias naturais da bacia do rio Jardim e suas respectivas áreas (adaptado de Spera *et al*, 2005 e Reatto *et al*, 2000)**

Fitofisionomia	Classes de Solos	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
Afloramento de Rocha	Afloramento de Rocha	419.977,40	42,00
Cerradão	Latossolo Amarelo/ Latossolo Vermelho	40.106.861,85	4.010,69
Mata de Galeria	Cambissolo/ Gleissolo/ Latossolo Vermelho/ Neossolo Flúvico/ Nitossolo	40.264.626,71	4.026,46
Cerrado <i>Strictu Sensu</i>	Latossolo Vermelho/ Latossolo Vermelho-Amarelo/ Cambissolo	311.362.091,72	31.136,21
Vegetação Campestre	Cambissolo/ Gleissolo/ Latossolo Vermelho-Amarelo/ Neossolo Quartzarênico/ Plintossolo	136.339.594,64	13.633,96
Total	--	528.493.152,32	52.849,32





**Figura 21 – Distribuição das classes fitofisionômicas**

Conforme demonstrado na Figura 23, onde é possível comparar a taxa de erosão em ambiente natural da bacia com a taxa de erosão atual da mesma. Para o cálculo do fator CP, só foram considerados os valores de P, dado que a simulação é feita para ambientes naturais. A Tabela 13 mostra os valores de P para a vegetação natural da área, utilizados por Silva (2004) para a bacia do rio Paracatu.

**Tabela 13 – Valores de CP (Adaptado de Silva, 2004)**

Fitofisionomias	P
Afloramento de Rocha	0,000
Cerradão	0,012
Mata de Galeria	0,012
Cerrado Strictu Sensu	0,042
Vegetação Campestre	0,042

A taxa de erosão em ambiente de vegetação primária variou entre 0,007 e 5,855 ton/ha.ano (Figura 23). Nos ambientes de afloramento de rocha a taxa de erosão é nula. Os maiores valores estão associados aos canais de drenagem, onde ocorrem as maiores taxas de sedimentação da bacia. A grande diferença entre a taxa de erosão em ambiente de vegetação primária e a realizada para o ano de 2008 está relacionado à intensificação do uso agrícola na bacia.

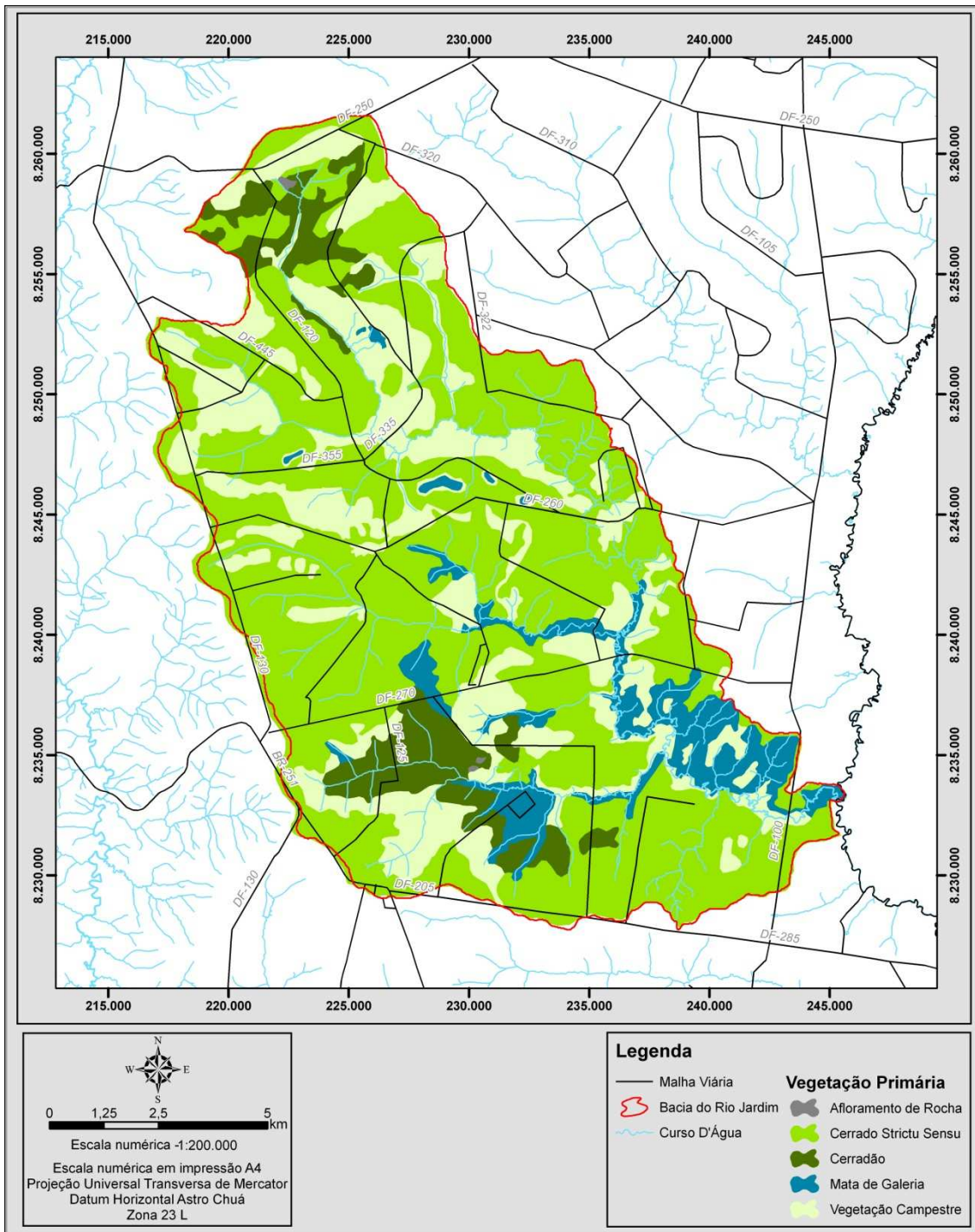


Figura 22 – Vegetação primária da área de estudo

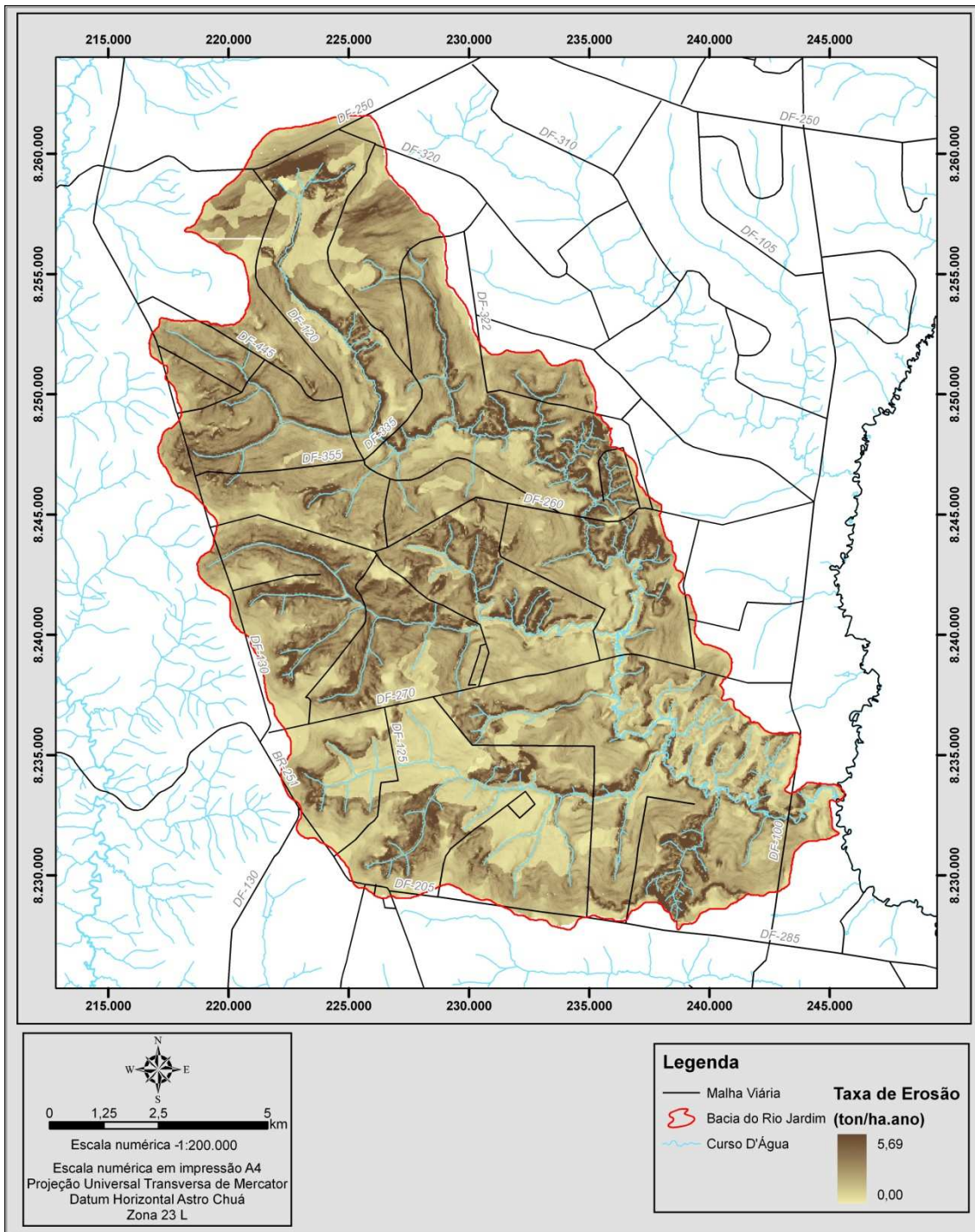


Figura 23 – Taxa de erosão em ambiente natural na área de estudo

## 5.5 ANÁLISE DO CUSTO DA PRODUÇÃO

As produções identificadas em campo foram alface, banana, batata, cenoura, café, feijão, limão, mandioca, milho, pastagens, pimentão, áreas de reflorestamento, soja, sorgo, tomate, e, além disso, foi identificado resquícios de produção de trigo e áreas de plantação de eucalipto (Figura 24 a Figura 41).

Para a identificação do custo da produção foi considerado o valor da produção anual, ou seja, no caso de rotação de culturas entre duas culturas no período seco e chuvoso, foi considerada a média ponderada do custo de produção para as duas atividades produtivas em relação aos meses de cultivo, como por exemplo, soja + trigo, milho + trigo, ou feijão + trigo. A Figura 42 mostra o mapeamento realizado na bacia do rio Jardim. As médias e grandes propriedades se encarregam da produção de soja, feijão, milho, sorgo, trigo e pastagens. O restante das atividades produtivas identificadas ocorre em parcelas menores.





**Figura 24 – Produção de Alface**



**Figura 25 – Produção de Pimentão**



**Figura 26 – Produção de Hortaliças**



**Figura 27 – Produção de Tomate**



**Figura 28 – Produção de Limão**



**Figura 29 – Produção de Soja**



**Figura 30 – Produção de Feijão**



**Figura 31 – Produção de Milho**





**Figura 32 – Resquícios de Produção de Trigo + Plantio de Soja**



**Figura 33 – Produção de Feijão irrigado por Sistema de Pivô Central**



**Figura 34 – Produção de Sorgo**



**Figura 35 – Área de Pastagem**



**Figura 36 – Áreas de Produção de Soja irrigadas por Sistema de Pivô central**



**Figura 37 – Área de Reflorestamento**



**Figura 38 – Áreas de Produção de Milho irrigadas por Sistema de Pivô central**



**Figura 39 – Visão Geral do Alto Rio Jardim**



**Figura 40 - Visão Geral do Médio Rio Jardim**



**Figura 41 - - Visão Geral do Baixo Rio Jardim**

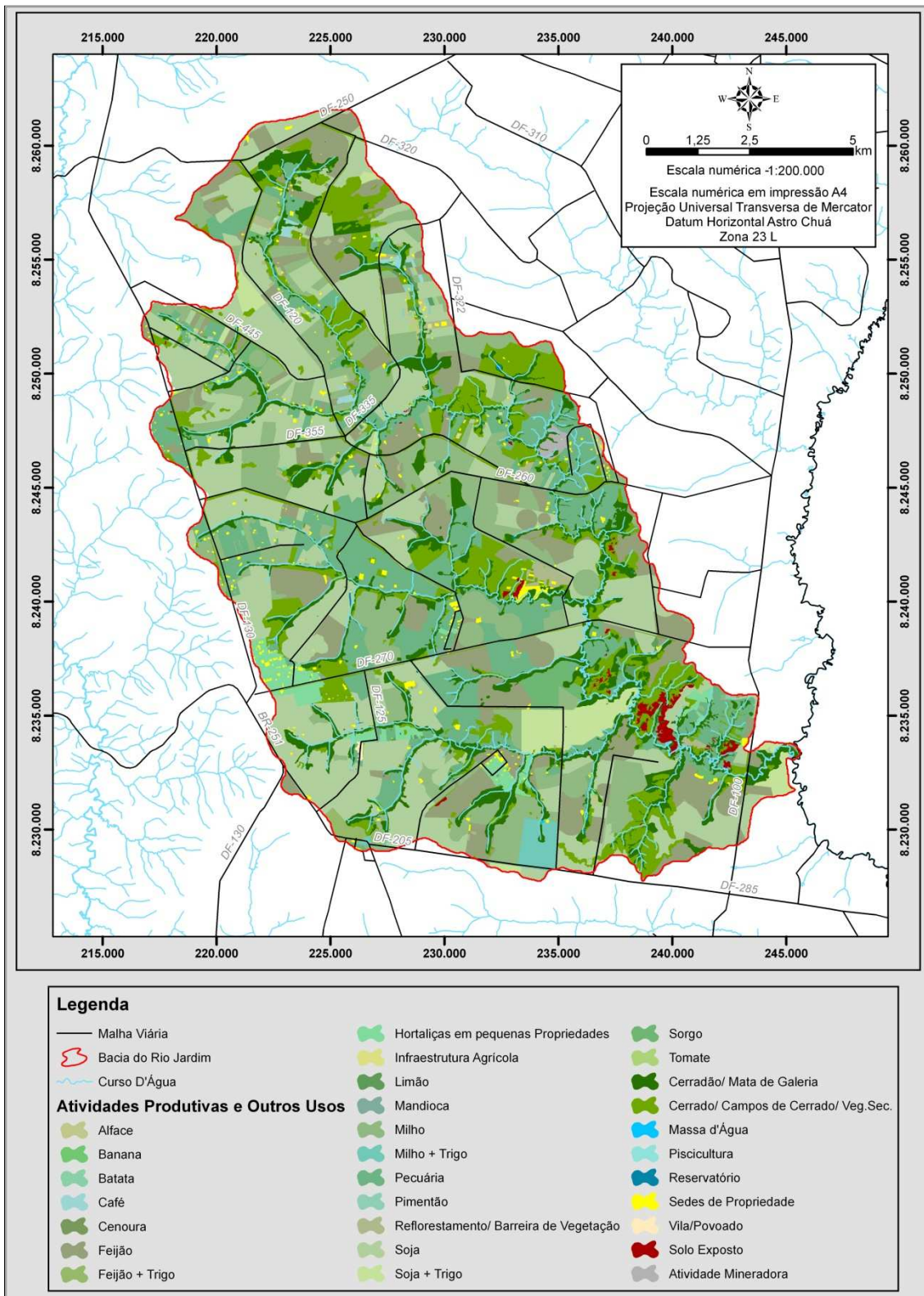


Figura 42 - Atividades produtivas na bacia do rio Jardim. – Ano 2008

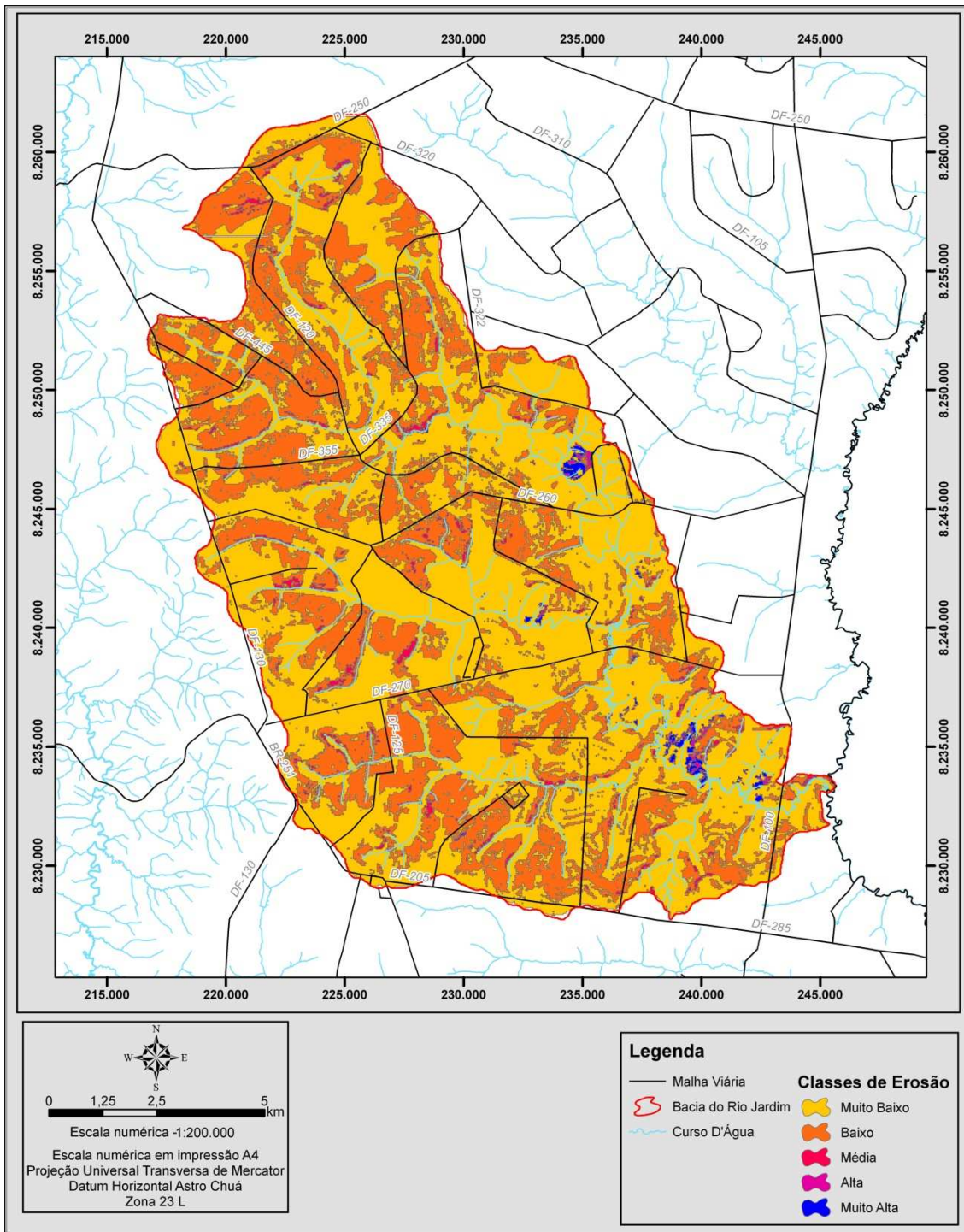


## 6 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS E ESTIMATIVA DO CUSTO ECONÔMICO DA EROSÃO NA BACIA.

Apesar da EUPS possuir limitações para quantificar processos erosivos em ambientes tropicais, os dados obtidos fornecem importantes indicadores para a gestão ambiental da bacia no sentido de nortear ações preventivas e possivelmente corretivas, dado que a análise realizada fornece subsídios para identificar áreas onde a deflagração de processos erosivos pode inviabilizar o investimento econômico nestas áreas. A partir da subtração entre a taxa de erosão atual e a erosão em ambiente natural, foram estabelecidas classes de interpretação relativas ao potencial de perda de solos (Farinasso *et al.*, 2006), conforme Tabela 14 e Figura 43.

**Tabela 14 – Classes de interpretação relativas ao potencial de perda de solos (adaptado de Farinasso *et al.* 2006)**

Classe de Potencial de Perdas de Solos	Perda de Solo (ton/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)
Muito Baixa	0,00 a 1,99	33.430,00	63,74
Baixa	2,00 a 5,99	17.782,25	33,90
Média	6,00 a 10,99	883,50	1,68
Alta	11,00 a 20,99	133,75	0,26
Muito Alta	≥ 21,00	218,50	0,42



**Figura 43 – Classes de interpretação da erosão na bacia do rio Jardim**

A partir da equação 11, foi elaborado o mapa do custo econômico da erosão (Figura 44). Para tal, os resultados foram divididos em quatro classes de interpretação, a partir da análise qualitativa da taxa de erosão (Tabela 14), destacando que, em algumas áreas, a taxa de erosão, apesar de classificada como alta, não foi o suficiente para inviabilizar a eficiência da produção agrícola: 1) Nulo – corresponde a custo econômico da erosão nulo; 2) Muito Baixo – o custo econômico da erosão varia entre 0,001 e 0,005 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>/R\$; 3) Baixo – corresponde a um custo que varia entre 0,005 e 0,002 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>/R\$; 4) Moderado – corresponde a uma perda de 0,002 a 0,006 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>/R\$; e 5) Alto – corresponde a uma perda acima de 0,006 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>/R\$.

Destas classes de interpretação, 27,29% das atividades agrícolas da bacia do rio Jardim pertencem à classe de custo econômico da erosão Nulo a Muito Baixo. A maior área encontra-se na classe de custo Baixo, ocupando 40,51% da área de estudo. Já o custo Moderado ocupa 6,28% da área da bacia, e somente 0,16% da bacia pertence à classe de custo Alto, conforme demonstrado na Tabela 15 e Figura 44.

Importante ressaltar que para este estudo só foram consideradas as atividades agropecuárias, ou seja, não foram analisadas atividades minerárias, urbanização, plantas industriais, sedes de propriedades, piscicultura e massas de água. Estas unidades de mapeamento, que representam 25% da área da bacia, foram agrupadas na classe Uso e Ocupação do Solo Diversos e não foram atribuídos a nenhuma classe de custo econômico da erosão, por não se enquadrarem no escopo deste trabalho.

É importante destacar que o custo econômico médio da erosão na bacia do rio Jardim é de aproximadamente 0,0009 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>/R\$, ou seja, para cada R\$ investido na agricultura da bacia, 0,0009 ton/ha.ano são perdidos, em média por meio de erosão laminar. Podemos afirmar que este valor é baixo em relação aos valores apresentados por Sorreson & Montoya (1989), que calcularam um custo médio dos micronutrientes perdidos no solo para o Estado de Paraná, a partir de uma taxa de 20 ton/ha.ano, uma perda equivalente de R\$ 457,33 milhões/ ano, ou seja, uma perda de 0,044 ton/ha.ano para cada R\$ investido no estado.

Do ponto de vista da economia ambiental, os prejuízos causados não são altos, dado que as características geomorfológicas e pedológicas da bacia permitem um incremento da eficiência e rentabilidade econômica sem maiores impactos à camada superficial do solo, onde se concentram a maior parte dos nutrientes necessários à maior qualidade da produção agrícola.

**Tabela 15 – Classes de interpretação para o custo econômico da erosão na bacia do rio Jardim**

<b>Valor (ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)/R\$)</b>	<b>Classe de Interpretação</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0,00	Nulo	6.889,50	13,03
Entre 0,00 e 0,00050	Muito Baixo	7.537,75	14,26
Entre 0,00050 e 0,0020	Baixo	21.412,75	40,51
Entre 0,0020 e 0,0060	Moderado	3.317,50	6,28
Acima de 0,0060	Alto	82,25	0,16
Uso e Ocupação do Solo Diversos	--	13.616,59	25,76
<b>Total</b>	<b>--</b>	<b>52.856,34</b>	<b>100,00</b>

As áreas críticas são ocupadas por diversos tipos de cultivo e pecuária, próximas a áreas de solo expostas e próximas a canais de drenagem, em áreas geralmente com alta declividade e sem cobertura vegetal. Ocorrem predominantemente em ambientes de Cambissolo, ocorrendo também em ambientes hidromórficos e de Latossolos.

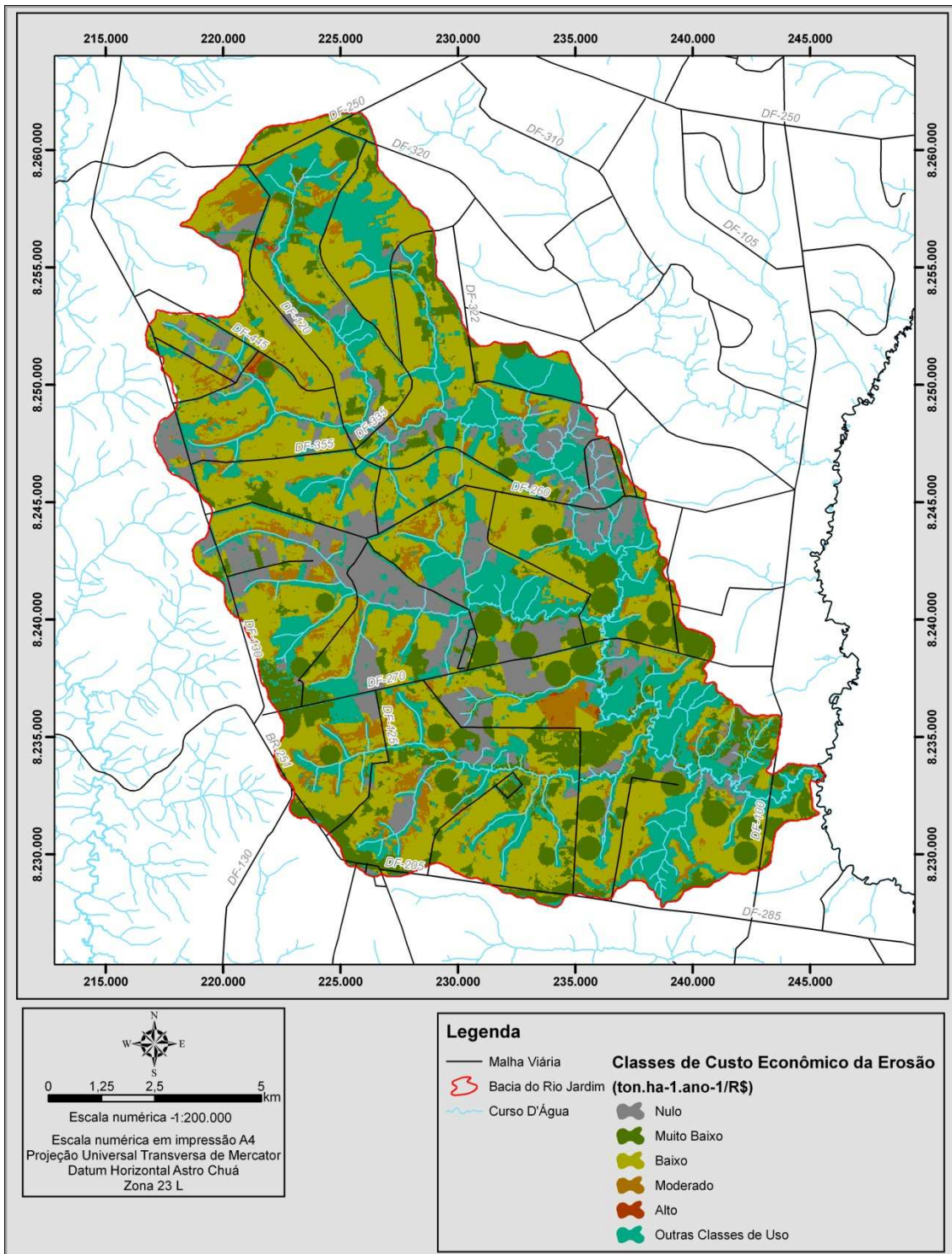


Figura 44 - Custo econômico da erosão no rio Jardim

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação da agricultura influencia de forma bastante significativa para o aumento da taxa de erosão em uma bacia hidrográfica. A comparação entre a taxa de erosão de 2008 e a taxa de erosão em ambiente de vegetação primária permitiu constatar esse fato, dado que, a taxa de erosão, em geral, era seis vezes maior em um ambiente ocupado por agricultura do que em ambiente natural.

A análise do sistema produtivo permitiu um mapeamento do custo de produção na bacia do rio Jardim, verificando que mais de 90% da bacia é ocupada por produção de soja, feijão e milho, seja em pequenas, médias ou grandes propriedades. Além disto, foi observado que a produção de feijão se concentra na região do Médio e Alto Jardim, já a produção de milho se concentra no Médio e Baixo Jardim e, a produção de soja é encontrada em praticamente toda a bacia. Em relação à produção de trigo, verifica-se a alternância com a produção de soja e feijão entre o período seco e chuvoso, com maior ocorrência no Baixo Jardim, especificamente nos Módulos *D*, *E* e *F* do PAD/DF. Nas pequenas e médias propriedades, predomina a produção de hortaliças diversas, avicultura e bovinocultura.

A integração destes resultados foi realizada através da relação entre o aumento da erosão e o custo de implantação de determinado tipo de cultivo (Equação 11), permitindo, de forma satisfatória, qualificar o custo econômico da erosão, que se apresentou como um custo baixo diante da importância que a bacia possui em termos de produção agrícola para o Distrito Federal quando comparado com os resultados obtidos por Marques *et al* (1961) para o Estado de São Paulo. Porém, apesar do baixo custo somente a eficiência econômica não é o suficiente para obter uma economia sustentável do ponto de vista ambiental. Porém, o modelo ainda é limitado por não considerar a aptidão agrícola do solo nem as diferentes formas de manejo que possam reduzir o efeito da erosão na produção.

Importante destacar que os resultados obtidos neste trabalho se restringem apenas ao custo econômico da erosão, não envolvendo outros custos econômicos e ambientais que possam ser inferidos a partir desta pesquisa. Além disso, o uso de técnicas de geoprocessamento foi fundamental para simplificar uma realidade complexa com fins de representar de forma mais palpável, dentro de um contexto espacial, questões relacionados às análises econômicas ambientais.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, J.G.; ALLEN, P.M. **Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds.** Journal of Hydrology, 176 (1): 57-77. 1996.

BAVER, L.D. **How Serious is Soil Erosion?** Soil Science Society of American Journal, v. 15, p. 1-5, 1951.

BEASLEY, D.B.; HUGGINS, L.F. **Answers User's Manual.** Chicago: U.S. Environmental Protection Agency. Report nº 905/9-82-001.

BENNET, H.H. **Some neglected soil investigations.** Soil Science Society of American Journal, v. B4, n.1, p.63-72, 1923.

BENNET, H.H. **Some Aspects of Soil Erosion as a National Problem.** Soil Science Society of American Journal, v. B10, n. 1-2, p. 55-74, 1929.

BENNET H.H. **The cost of soil erosion.** The Ohio Journal of Science, v.33, n.4, 271-279, 1933.

BENNET, H.H. **Facing the erosion problem.** Science, v. 81, n. 2101, p. 321-326, 1935.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ed. Ícone, 356p., 1995.

BRAUN, O.P.G. **Contribuição à geomorfologia do Brasil Central.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v.32, n.3, p.3-39, 1971.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Princípios básicos em Geoprocessamento.** In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (orgs.) *Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura.* 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.** Revista Brasileira de Geociências, 34 (1): 41-48, 2004.

COURA, R.M.; FIGUEIREDO, A.M.; SANTOS, M.L. **Eficiência e Tecnologia na agricultura paulista entre 1985 e 2001.** Organizações Rurais & Agroindustriais, Lavras, v.8, nº2, p. 216-226. 2006.

CREPANI, E.; FLORENZANO, T.; MEDEIROS, J. S. ; HERNANDEZ FILHO, P. ; DUARTE, V . **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** Publicação INPE, São José dos Campos: (INPE-6145-PUD/028), 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 80p. INPE /8454/RPQ/722. 2001.

CRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistema em Geografia**. Editora Hucitec, São Paulo, 1979

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DESMET, P.J.J. & GOVERS G. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5): 427-433, 1996.

DOLABELLA, R.H.C. **Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade dos recursos hídricos para a agricultura irrigada na bacia hidrográfica do rio Jardim - DF**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília/ Faculdade de Tecnologia/ Departamento de Engenharia Agrônômica. Brasília: UnB, 1996, 106p.

EHLERS, E. **Empreendedorismo e conservação ambiental no interior de São Paulo**. Revista de Economia e Sociologia Rural, vol.45, n°1, Brasília, 2007.

EITEN, G. **The cerrado vegetation of Brazil**. Botanical Review, 38(2):201-341, 1972.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Custos de produção**. 2010. Disponível em: <<http://www.emater.df.gov.br/>>. Acesso em: 08/11/2010

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VI Planaltina: Unidades Locais: Rio Preto taquara, Tabatinga Planaltina e Pípiripau**. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, Emater-DF, 2009a.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VII Paranoá: Unidades Locais: Jardim, PAD-DF, e Paranoá**. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, Emater-DF, 2009b.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VI Planaltina: Unidades Locais: Rio Preto taquara, Tabatinga Planaltina e Pípiripau**. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, Emater-DF, 2008a.



EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VII Paranoá: Unidades Locais: Jardim, PAD-DF, e Paranoá.** Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, Emater-DF, 2008b.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VI Planaltina: Unidades Locais: Rio Preto taquara, Tabatinga Planaltina e Pipiripau.** Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, Emater-DF, 2007.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Conjuntura Socioeconômica Rural – RA VI Planaltina: Unidades Locais: Rio Preto taquara, Tabatinga Planaltina e Pipiripau.** Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ SEAPA-DF, Emater-DF, 2006.

FARINASSO, M.; CARVALHO JR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, T.A.T.; RAMOS, V.M. (2006). **Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas tecnologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA.** Revista Brasileira de Geomorfologia – Ano 7, nº 2, p. 57-69. 2006.

FERREIRA, I. L.; SOUZA, L. H. F.; RODRIGUES, S. C. **Estudos Geomorfológicos em Áreas Amostrais da Bacia do Rio Araguari – MG: Destaque para a Importância da Cartografia Geomorfológica.** Espaço & Geografia, Vol.10, nº1, p 143-171. 2007.

FREIRE, O.; GODOY, M.C.T.F.; CARVALHO, W.A. **Erodibilidade de alguns solos do oeste do Estado de São Paulo.** Revista de Geografia, São Paulo, n. 11, p;77-87, 1992.

FURLEY, P.A. **The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados.** Global Ecol. Biogeog., 8:223-241, 1999.

GLAETZAR, B. & GRIERSON, I. **The Universal Soil Loss Equation. A Computer Package.** Roseworthy Agricultural College, 1987.

GOMES, J. B. V. et al . **Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa , v. 28, n. 1, Fevereiro de 2004 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010006832004000100014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832004000100014&lng=en&nrm=iso)>. acesso em 17 de Novembro 2010.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental Indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development.** World Resources Institutes. May, 1995.

HEINZE, B.C.L. **A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da Região Nordeste.** Monografia, MBA – Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada. Fundação Getúlio Vargas, Brasília, 70p. 2002.

HERMUCHE, P. M.; AMDRADE, A. C.; GUIMARÃES, R. F.; LEAL, L.R.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; MARTINS, E.S. **Compartimentação Geomorfológica em escala regional da bacia do Rio Paranã.** Revista do Departamento de Geografia (GeoUERJ), Rio de Janeiro, v.1, p. E2-2-2T288. 2003.

HERNANI, L.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. **Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, 23: 145-154, 1999.

HUTCHINSON, M.F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits.** Journal of Hydrology, 106: 211-232.

KING, L.C. **A geomorfologia do Brasil Central.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p.147-265, 1957.

KINPARA, D. I. **A valoração econômica dos recursos minerais: o caso das rochas como fontes alternativas de nutrientes.** Espaço & Geografia, vol.9, n°1, p. 43-61, 2006.

KNIGHT, V. M.YOUNG,C.E. F. **Custo da Poluição Gerada pelos Ônibus Urbanos na RMSP.** In: XXXIV Encontro Nacional de Economia, Anais, 2006 . Disponível em <<http://www.anpec.org.br/encontro2006/artigos/A06A069.pdf>>. Acesso em: 16/12/2010.

LIMA, O.N.B.; UHLEIN, A., BRITTO, W. **Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais.** Revista Brasileira de Geociências. 37 (4-suplemento): 204-215, dezembro de 2007.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E.M. Eid, N.J. MARTINS, E.S.; KOIDE, S.; REATTO, A. **Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim – DF.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v.8, n.2, p. 21-34, 2007.

MACEDO, M. A.; RUDORFF, B. F. T. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na Bacia do Rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento.** Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, 9. Anais, Puerto Iguzú, Argentina. 2000.

MANNIGEL , A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R.. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo.** Acta Scientiarum. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340. 2002.

MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C. **A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento.** In: SBG, Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e Suas Faixas Marginais, 1. Salvador, Anais, p.100-113. 1981.

MARQUES, J.Q.; BERTONI, J.; BARRETO, G.B. **Perdas por erosão no Estado de São Paulo.** *Bragantia*, v. 20., n. 47, p. 1143-1181, 1961. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S000687051961000100047&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S000687051961000100047&script=sci_arttext)> Acesso em 18/09/2010.

MARQUES, J. F. & PAZZIANOTTO, C.B. **Custos econômicos da erosão do solo: estimativa pelo método de reposição de nutrientes – Simulação do custo econômico da erosão.** In: Embrapa, Comunicado Técnico, 23, Jaguariúna – SP, 2004.; Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/analise\\_econ/](http://www.cnpma.embrapa.br/analise_econ/)>. Acesso em: 04/11/2010.

MARTINS, E.S.; REATTO, A.; CARVALHO JÚNIOR, O.A; GUIMARÃES, R.F. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal.** In: Documentos, Embrapa Cerrados, n. 122, p. 1-57, 2004.

MARTINS, E.S. **Petrografia, mineralogia e geomorfologia de regolitos lateríticos do Distrito Federal.** Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, 196p. 2000.

MATA, C. L. **Análise Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, 71 p., 2009.

MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; **Avaliação Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por Meio da Equação Universal de Perda de Solos.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, n.2, p. 57-71, 2007.

MUELLER, C.C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.** Brasília, Editora Universidade de Brasília, Finatec, 2007.

NASCIMENTO, M.A.L. **Estudo dos processos erosivos na bacia do Ribeirão João Leite em Goiânia.** Tese de doutorado. São Paulo: USP, 1998.

NETO, R. O. & PETTER, C.O. **A abordagem econômica no contexto da mineração.** REM: E. Esc. Minas, Ouro Preto, 58(1): 71-75, jan./mar. 2005

NOVAES-PINTO, M. **Superfícies de aplainamento na Bacia do Rio São Bartolomeu, Distrito federal/ Goiás.** *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.48, p.237-257, 1986.

O'CALLAGHAN, J.F. & MARK, D.M. **The extraction of drainage networks from digital elevation data.** Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 28, 323-344. 1984.

OKAWA, H. Pivô Central: Forma Prática de Calcular seu Custo de Operação. **Instituto de Economia Agrícola (IEA/ SP).** 2001. Disponível em:<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=223>. Acessado em 10/06/2010.

PANQUESTOR, E.K.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; PANQUESTOR, E.K. **Aplicação de Indicadores Quantitativos na Definição de Unidades de Paisagem e Uso da Terra na Bacia do Rio Corrente – BA.** In: Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente, Indaiatuba (SP). CD-ROM do II Encontro da ANPPAS. Campinas : ANPPAS, 2004. p. 1-16. 2004.

PINDYCK, R. & RUBINFELD, D.L. **Microeconomia.** São paulo: Makron Books, 1994. 968p.

REATTO, A.; CORREIRA, J.R.; SPERA, S.T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J.S.; ASSAD, M.L.C.L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Jardim – DF, escala 1:50.000.** Planaltina: Embrapa Cerrados. 63p. CD-ROM (Boletim de Pesquisa nº 18), 2000.

RENARD, K.G.; MEYER, L.D.; FOSTER, G.R. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide do Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** Department of Agriculture, Washington University, 384p. 1997.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado.** In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: Ambiente e Flora.** Planaltina – DF, Embrapa – CPAC, 1998. P. 89-166.

RODRIGUES, W. **Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em Região dos Cerrados.** Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 43, n.1, p. 135-153, 2005.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J.; IMBROISI, D. **Avaliação econômica da agricultura sustentável: o caso dos cerrados brasileiros.** Cadernos de Ciência e tecnologia, Brasília, v.18, n.3, p. 103-130, 2001.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J.; DENISE, I. **Avaliação econômica da agricultura sustentável: o caso dos cerrados brasileiros.** In: Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília, v.18, n.3, p. 103-130. Set./dez/ 2001.

SATURNINO, H. M; LANDERS J. N. **O meio ambiente e o plantio direto.** Goiânia: Embrapa, 1997. 116p

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A.A.; BATISTELA, O. **Erosão Hídrica em Cambissolo Húmico Alimínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de Nutrientes e Carbono Orgânico.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, 24: 437-447, 2000.

SILVA, F.G.B.; MINOTTI, R.T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVERSI, O.; CRESTANA, S. **Previsão da perda de solo na Fazenda Cachim – SP (Embrapa) utilizando o geoprocessamento e o USLE 2D.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 15, nº2, Rio de Janeiro, Junho de 2010.

SILVA, V.C. **Estimativa da erosão atual da Bacia do Rio Paracatu (MG/ GO/ DF).** In: Pesquisa Agropecuária Tropical, 34(3): 147-159, 2004.

SMULDERS, S. **Economic growth and enviromental quality.** In: Folmer, H. & Gabel, L. (eds). *Principles of environmental and resource economics.* Edward Elgar, 2000.

SORRENSON, W.J.; MONTOYA, L.J. **Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná.** Londrina: IAPAR, 1989.

SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R. **Atributos físico solos e distribuição das fitofisionomias de Cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Jardim, DF.** Planaltina, DF: Embrapa cerrados – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 146, 18p. 2005

SPERA, S. T. ; REATTO, A ; MARTINS, E. S. ; SILVA, A. V. ; FARIAS, M. R. . **Aptidão Agrícola das terras da bacia do Rio Jardim, DF.** Boletim de Pesquisa/Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2002

SPERA, S.T.; REATTO, A.; CORREIRA, J.R.; CUNHA, T.J.F. **Solos areno-quartzosos no Cerrado: problemas, características e opções de uso.** Embrapa Cerrados. Documentos, 7, Planaltina: Embrapa Cerrados, 48p. 1999.

TARBOTON, D.G. **A new mthod for the determination of flow directions and upslope áreas in grid digital elevation models.** Water Resources Research, 33 (2), 309-319, 1997.

TELLES, T.S. & GUIMARÃES, M.F. **Custo da Erosão do Solo.** Custos da erosão do solo. In: *XLVII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, 2009, Porto Alegre. XLVII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

WILLIAMS, J.R. **The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model – A case history.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 329 (1255); 421-428. 1990.

WISCHMEIER, W.H. **A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation.** Soil Sc. Soc. Am. Proc., Madison, v. 23, n. 2, p. 246-249, 1959.

WISHMEIER, W.H. E SMITH, D.D. **Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning.** Inst. Ass. Sci. Hidrology Common Land Erosion. Pub. P. 148-159. 1962

WISHMEIER, W.H. E SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning.** Agr. Handbook, n. 537, 58p. 1978.

YOUNG, R.A.; ONSTAD, C.A.; BOSH, D.D.; ANDERSON, P. **AGNPS A nonpoint-source pollution model for evaluating watersheds.** Journal of Soil & Water Conservation, Ankey, v.44, n.2, p. 168-173. 1989.