



**EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA, EROSÃO DOS SOLOS E
FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA APA DO RIO
DESCOBERTO NO DISTRITO FEDERAL E GOIÁS**

IVO IAN LEÃO TEIXEIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - EFL
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA, EROSÃO DOS SOLOS E
FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA APA DO RIO
DESCOBERTO NO DISTRITO FEDERAL E GOIÁS**

IVO IAN LEÃO TEIXEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA/DF FEVEREIRO DE 2018

Brasília, 27 de fevereiro de 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**“EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA, EROÇÃO DOS SOLOS E FRAGMENTAÇÃO
DA VEGETAÇÃO NA APA DO RIO DESCOBERTO NO DISTRITO FEDERAL E
GOIÁS”**

IVO IAN LEÃO TEIXEIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADA POR:

**Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI (Departamento de
Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)**

**Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia
Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)**

**Prof. Dr. CARLOS HENKE DE OLIVEIRA (Departamento de Ecologia -
ECL/UnB);
(Examinador Externo)**

**Prof. Dr. ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA (Departamento de Engenharia
Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)**

Brasília-DF, 27 de fevereiro de 2018.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

IPPGEFL Ian Leão Teixeira, Ivo
.DM EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA, EROSÃO DOS SOLOS E
312/201 FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA APA DO RIO DESCOBERTO NO
8e DISTRITO FEDERAL E GOIÁS / Ivo Ian Leão Teixeira;
orientador Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. --
Brasília, 2018.
140 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais)
- Universidade de Brasília, 2018.

1. Unidades de Conservação. 2. EUPS. 3. Voçorocas. 4.
Sensoriamento Remoto. 5. SIG. I. Aparecido Trondoli
Matricardi, Eraldo, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir chegar ao final desta etapa da vida com muita saúde e força. Reverencio o Professor Dr. Eraldo Matricardi pela sua dedicação excepcional com todos os alunos, inclusive com a orientação desta pesquisa de mestrado. Além disso, por ser um excelente profissional, pela sua competência e paciência com os orientados, pelas sugestões que auxiliaram na conclusão desta dissertação e pela amizade construída durante o tempo de orientação. Por meio dele, eu me reporto a toda à comunidade do Departamento de Engenharia Florestal – UnB e Instituto de Geociências - UnB, pelo apoio dado a mim durante o trajeto da pós-graduação.

Agradeço também a TERRACAP por ter contribuído para a execução deste trabalho, principalmente a toda equipe da Gerência de Topografia (NUGET). Agradeço a CAESB por ter contribuído também, por disponibilizar os dados necessários para construção desta pesquisa. A todos os amigos que trilharam este caminho ao meu lado, trazendo alegrias e me incentivando a concluir esta etapa da minha vida.

Agradeço aos pesquisadores e professores da banca examinadora, é uma honra ter uma equipe de tanta qualidade contribuindo para este estudo. Gostaria de deixar marcado também, o meu reconhecimento à minha família. Por acreditar e compartilhar dos meus sonhos, sempre dando o apoio imensurável em todos os momentos da minha vida. Este projeto tem um pouco de cada um da nossa família. Deixo registrados minha admiração e todo o respeito por vocês.

À bolsa concedida pela CNPQ. Ao programa de pós-graduação de ciências florestais e a todos os professores dos pós, que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

RESUMO

EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA, EROSÃO DOS SOLOS E FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA APA DO RIO DESCOBERTO NO DISTRITO FEDERAL E GOIÁS

Autor: Ivo Ian Leão Teixeira

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília

Brasília, 27 de fevereiro de 2018.

Assegurar o fornecimento adequado de água é essencial para o bem-estar humano e sua vida. O alto consumo de água e a utilização inadequada dos recursos naturais no Distrito Federal (DF) vêm trazendo sérios problemas para a sociedade. O principal sistema de abastecimento de água no DF é o da bacia do Rio Descoberto, que envolve várias microbacias que contribuem diretamente para o abastecimento desse reservatório de águas. Este trabalho tem como objetivo analisar as variações de uso da terra, as principais influências desses usos nos processos de erosão dos solos a partir do uso da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) e do mapeamento de voçorocas, além de compreender os efeitos da fragmentação da vegetação natural e os outros fatores que contribuem com a crise hídrica na região. Os resultados desta pesquisa indicam que a bacia do rio Descoberto pode ser considerada uma região consolidada no uso e ocupação das terras, com poucas alterações observadas na paisagem natural entre 2011 e 2014. A análise da paisagem natural na área de estudo em 2014 indica que 39% estavam ocupados por remanescentes de vegetação nativa, sendo a implantação de atividades agropecuárias e expansão urbana os principais responsáveis pela alteração dessa paisagem na região. Com base nos resultados da aplicação da EUPS, a área de estudo apresentou baixa perda de solos em 2014 (inferior a 10 t ha⁻¹ ano⁻¹). A análise espacial das 88 ravinas e voçorocas mapeadas neste estudo indica uma maior concentração nas regiões de solo exposto e cerrado, com ausência de adoção de práticas conservacionistas de proteção ao solo, a maior parte caracterizada por latossolos e declividade variando de 2° a 10°. A paisagem da bacia do rio Descoberto apresentou um padrão comum de áreas de expansão localizadas no entorno de grandes centros urbanos: aumento de regiões antropizadas pela urbanização e atividades agrícolas e pastagens e, conseqüentemente, a diminuição da cobertura vegetal nativa. Também foram observadas a diminuição da área de núcleo dos fragmentos, aumento da área de borda e o isolamento dos fragmentos, dificultando a efetividade da conservação da biodiversidade, com impactos diretos na produção e oferta de serviços ecossistêmicos, como a produção de água. A disponibilidade hídrica vem sendo afetada pelo crescimento populacional no DF, onde foi observado um aumento de 50 mil habitantes por ano no período estudado. Conseqüentemente, a demanda por água para atender o consumo da população aumentou e ampliou o volume médio captado do Reservatório do Descoberto. Apesar da redução da média de consumo de água per capita, os sistemas de abastecimento do DF apresentaram uma perda 35% nos últimos anos, que contribuiu para o agravamento da crise hídrica na região de estudo.

Palavras-chave: Unidade de Conservação, EUPS, Voçorocas, Fragmentação, Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

LAND USE AND LAND COVER CHANGES, SOIL EROSION AND VEGETATION FRAGMENTATION IN THE RIO DISCOBERTO BASIN IN THE DF AND GO

Author: Ivo Ian Leão Teixeira

Advisor: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Forest Science Graduate Program, University of Brasília

Brasília, February 27, 2018.

Adequate water supply is crucial for human life and welfare. The inappropriate use of natural resources, the high levels of water consumption have been causing serious problems for the population of the Federal District (FD) in Brazil. The main water supply system in the FD is the Descoberto river basin, which involves several watersheds that directly supply this water reservoir. This study aims to assess the land use and land cover changes and the effects of those changes on soil erosion process by using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and by mapping ravines and gullies, and to understand the landscape fragmentation process, as well as the main contributing factors of the hydric crisis in the studied area. The study results indicated that the Descoberto river basin is a consolidated region in which I observed only subtle changes of natural landscape between 2011 and 2014. The natural landscape analysis of the study area in 2014 indicated that 39% was occupied by native vegetation, where agricultural activities and urban expansion were responsible for most of the landscape changes in that region. Based on the USLE results, I estimated low soil loss in 2014 (less than 10 t ha⁻¹ year⁻¹) in the study area. The spatial analysis of the 88 ravines and gullies mapped in this study indicated a higher concentration in the regions of bare soil and cerrado vegetation, where no conservationist practices had been adopted to protect soil from erosion, mostly characterized by latosols and slope varying from 2° to 10°. The landscape of the Descoberto river basin showed a similar occupation pattern of the surrounding areas of urban expansion: an increase of deforestation by urbanization and agricultural activities and pastures and, consequently, a decrease of native vegetation coverage. Also, I observed a decrease of the patch's core area, an increase of the border area and the patch's isolation, which affected the effectiveness of biodiversity conservation directly affecting the production and supply of ecosystem services, such as water production. Water availability has been affected by population growth in the Federal District, which showed an increase of 50,000 inhabitants per year during the studied period. Consequently, there was an increase of demand for water to supply the current population and an increase of the average water volume captured from the Descoberto water reservoir. Despite the observed reduction in the average of water consumption per capita in the DF, its supply systems showed 35% of wasted water in recent years, which contributed to the worsening of the water crisis in the study region.

Keywords: Conservation Unit, USLE, Gullies, Fragmentation, Remote Sensing, Geographic Information System.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS E REFERENCIAL TEÓRICO....	11
1.1. Introdução.....	11
1.2. Problema e Questões de Pesquisa.....	13
1.3. Objetivo Geral.....	13
1.4. Objetivos Específicos.....	14
1.5. Justificativa.....	14
1.6. Fundamentação Teórica.....	15
1.6.1 Crise Hídrica.....	15
1.6.2 APA da Bacia do Rio Descoberto - DF/GO.....	16
1.6.3 Planejamento Territorial.....	19
1.6.4 Sensoriamento Remoto e SIG.....	20
1.6.5 Análise de Paisagem.....	21
1.6.6 Erosão.....	23
1.6.7 EUPS (Equação Universal de Perda de Solo).....	24
1.6.8 Fator R.....	26
1.6.9 Fator K.....	27
1.6.10 Fator CP.....	28
1.6.11 Fator LS.....	29
1.6.12 Voçorocas.....	31
1.7. Área de Estudo.....	32
1.7.1 Clima.....	32
1.7.2 Solo.....	34
1.7.3 Geomorfologia.....	36
1.7.4 Hidrografia.....	37
1.7.5 Vegetação.....	38
1.7.6 Formato desta Dissertação de Mestrado.....	41
2. CAPÍTULO II - DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA ENTRE 2011 E 2014.....	42
2.1. Introdução.....	42
2.2. Material e Métodos.....	43
2.2.1 Base de Dados.....	43
2.2.2 Métodos.....	45

2.2.2.1	Procedimentos de campo e definição das classes de uso e cobertura da terra	45
2.2.2.2	Classificação das imagens para Mapeamento do Uso do Solo	50
2.2.2.3	Avaliação da Acurácia	50
2.3	Resultados	53
2.3.1	Acurácia da Classificação do Uso e Cobertura da Terra	53
2.3.2	Avaliação da Dinâmica e de Uso e Cobertura da Terra	54
2.4	Conclusão	60
3	CAPÍTULO III - ESTIMATIVA DA EROSIÃO LAMINAR ATRAVÉS DA EUPS E MAPEAMENTO DE VOÇOROCAS E RAVINAS	62
3.1.	Introdução	62
3.2.	Material e Métodos	63
3.2.1.	Material	63
3.2.2.	Métodos	63
3.2.2.1.	Fator R (Erosividade da Chuva)	64
3.2.2.2.	Fator K (Erodibilidade dos Solos)	66
3.2.2.3.	Fator LS (Comprimento de Rampa e Declividade)	67
3.2.2.4.	Fator CP (Uso do Solo e Práticas Conservacionistas)	69
3.2.2.5.	Mapeamento de Voçorocas	70
3.2.2.6.	Validação do Mapeamento de Voçorocas	71
3.3.	Resultados	72
3.3.1.	Erosividade da Chuva	72
3.3.2.	Erodibilidade do Solo	73
3.3.3.	Fator Topográfico	75
3.3.4.	Uso do Solo e Práticas Conservacionistas	79
3.3.5.	Cálculo do Potencial de Erosão da APA do Rio Descoberto	81
3.3.6.	Resultado da Validação de Campo	82
3.3.7.	Resultado do Mapeamento de Voçorocas	86
3.4.	Conclusão	89
4	CAPÍTULO IV - FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA	91
4.1	Introdução	91
4.2.	Materiais e Métodos	93
4.2.1.	Classificação do Uso e Cobertura da Terra	93

4.2.2.	Métricas de Paisagem	94
4.2.3.	Disponibilidade Hídrica	95
4.3.	Resultados	97
4.3.1.	Métricas da Paisagem	97
4.3.2.	Fragmentação dos Remanescentes de Cerrado	103
4.3.3.	Disponibilidade Hídrica	107
4.4.	Conclusão	114
	Fragmentação da paisagem:	114
5	CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
5.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	117
5.2.	REVISANDO AS QUESTÕES DE PESQUISA	118
5.3.	OPORTUNIDADES DE ESTUDOS FUTUROS	120
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes de uso para a classificação supervisionada (imagens <i>Rapid-Eye</i>) 1:25.000.....	48
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação proposta por Wischmeier et al. (1971) adaptada por Bloise et al.(2001) para os coeficientes do fator K para cada tipo de solo estudado pelos autores.....	28
Tabela 2: Classificação do tamanho da voçoroca pelo volume erodido (m ³) proposto por Vieira et al. (2005).....	32
Tabela 3: Dados das imagens <i>Rapid-Eye</i> utilizadas para mapeamento da APA do Rio Descoberto.....	44
Tabela 4: Exemplo de matriz de confusão para várias classes.	52
Tabela 5: Matriz de confusão para validação da classificação supervisionada da APA do Rio Descoberto.....	54
Tabela 6: Resultado da classificação supervisionada para a APA do Rio Descoberto, entre os anos de 2011 e 2014.....	55
Tabela 7: Porcentagem da área natural e antropizada para a classificação de uso do solo da APA do Rio Descoberto para os anos de 2011 e 2014.	60
Tabela 8: Dados utilizados para estimar a erosão laminar na área de estudo utilizando a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).	63
Tabela 9: Dados de localização das estações pluviométricas	65
Tabela 10: Classificação do fator K para determinados solos presentes na área de estudo proposto por Bloise et al. (2001) segundo o monograma de Wischmeier et al. (1971).	67
Tabela 11: Coeficientes do fator CP para cada tipo de uso do solo de acordo com a metodologia proposta por Stein (1987).	70
Tabela 12: Classificação da erosividade da chuva pela quantidade em (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹) proposta por Foster et al (1981).	72
Tabela 13: Fator CP e área (%) para cada classe de uso da terra.	80
Tabela 14: Resultado em classes de perda de solo do mapeamento da EUPS para a APA do rio Descoberto.....	81
Tabela 15: Verificação de campo das amostras de voçorocas selecionadas na APA do rio Descoberto.....	82
Tabela 16: Descrição das amostras de voçorocas selecionadas verificadas em campo.	86
Tabela 17: Matriz de Confusão do mapeamento de voçorocas realizado através da classificação visual.	86
Tabela 18: Resultado da quantidade de voçorocas em relação aos usos da terra da APA do rio Descoberto.....	88
Tabela 19: Quantidade de voçorocas em relação as classes de declividade da APA do rio Descoberto.....	88
Tabela 20: <i>Quantidade de voçorocas em relação ao fator K de cada tipo de solo da APA do rio Descoberto.</i>	89
Tabela 21 : Dados das imagens Landsat utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2015 na APA do rio Descoberto.	93
Tabela 22: Resultado das métricas de paisagem calculadas no software Fragstat.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Uso da água (em trilhões de m ³) previsto para os próximos anos (2025 e 2050) Fonte: Adaptado de <i>United Nations Environment Programme</i> (ONU, 2010).	15
Figura 2: Médias mensais de pluviosidade da região de estudo extraída do Plano de Manejo da APA do Rio Descoberto, adaptado de ICMBIO (2014).	33
Figura 3: Temperaturas da região de estudo extraída do Plano de Manejo da APA do Rio Descoberto, adaptado ICMBIO (2014).	33
Figura 4: Classificação dos solos que ocorrem no Distrito Federal, desenvolvida por MARTINS et al. (2004).	35
Figura 5: Distribuição espacial das classes geomorfológicas na área de estudo extraído do Plano de Manejo da APA do Rio Descoberto, ICMBIO (2014).	37
Figura 6: Hidrografia da bacia do rio Descoberto desenvolvida por Reatto et al (2003).	38
Figura 7: Perfil da classificação fitofisionômica do Cerrado preparado por Ribeiro (2008).	39
Figura 8: Distribuição proporcional das fitofisionomias classificadas por Reatto et al. (2003) na área da bacia do rio Descoberto, adaptado.	40
Figura 9: Distribuição espacial das fitofisionomias do Cerrado para o Alto Curso do rio Descoberto, adaptado por Reatto et al. (2003).	40
Figura 10: Bandas espectrais do sensor <i>Rapid-Eye</i> , adaptado <i>Rapid-Eye</i> (2017).	44
Figura 11: Pontos de amostragem aleatória para avaliação da classificação supervisionada MaxVer.	51
Figura 12: Porcentagens de área de cada classe da classificação realizada nos anos estudados. ..	57
Figura 13: Uso e cobertura da terra na bacia do rio Descoberto em 2011.	58
Figura 14: Uso e cobertura da terra em 2012 na bacia do rio Descoberto.	58
Figura 15: Uso e cobertura da terra em 2013 na bacia do rio Descoberto.	59
Figura 16: Uso e cobertura da terra em 2014 na bacia do rio Descoberto.	59
Figura 17: Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator R da EUPS para a APA do rio Descoberto.	65
Figura 18: Etapas para a preparação dos dados de Acúmulo de Fluxo e Declividade para cálculo do Fator LS.	68
Figura 19: Imagem da feição em campo adquirida em outubro de 2017 e por imagem utilizada (DigitalGlobe) para o mapeamento de voçorocas em escala de 1:1000.	71
Figura 20: Amostras aleatórias para a verificação em campo do mapeamento de voçorocas.	71
Figura 21: Fator R para a APA do rio Descoberto em (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹).	73
Figura 22: Erodibilidade dos solos (fator K) para a APA do rio Descoberto.	74
Figura 23: Erodibilidade dos solos (Fator K) na classificação baseado em Borges (2013).	75
Figura 24: Modelo Digital de Elevação da APA do Rio Descoberto com dados da TERRACAP (2009).	76
Figura 25: Classes de declividade do terreno para a região da APA do rio Descoberto.	77
Figura 26: Direção do fluxo (dado secundário) para cálculo do fator L da EUPS para a APA do rio Descoberto.	77
Figura 27: Acúmulo de fluxo (dado secundário) para cálculo do fator L da EUPS para a APA do rio Descoberto.	78
Figura 28: Fator LS para a APA do rio Descoberto.	79
Figura 29: Fator CP para a APA do rio Descoberto.	80
Figura 30: Estimativa da erosão laminar na APA do rio Descoberto utilizando a EUPS.	81

Figura 31: Distribuição espacial das voçorocas e ravinas identificadas na APA do rio Descoberto em 2016.	87
Figura 32: Variação temporal da métrica LPI (eixo Y em %) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 a 2015.	98
Figura 33: Variação temporal da métrica de paisagem PLAND (eixo Y em %) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 a 2015.	98
Figura 34: Variação temporal da métrica ÁREA_MN (eixo Y em hectares) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 a 2015.	99
Figura 35: Variação temporal da métrica NP (eixo Y em quantidade) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.	100
Figura 36: Variação temporal da métrica CPLAND (eixo Y em %) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.	100
Figura 37: Variação temporal das métricas CAI_MN (eixo Y) e NDCA (eixo Y) na região da APA do Rio Descoberto entre 1985 e 2015.	101
Figura 38: Variação temporal das métricas SHAPE_MN (eixo Y) e FRAC_MN (eixo Y) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.	102
Figura 39: Variação temporal da métrica PROX_MN (eixo Y) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.	103
Figura 40: Mapa de Fragmentação da Paisagem na APA do rio Descoberto nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.	104
Figura 41: Variação da vazão em m ³ /s do rio Descoberto entre 1995 e 2015.	107
Figura 42: Variação da precipitação anual (mm) (eixo Y) entre 1995 e 2015 (eixo X) na bacia do rio Descoberto.	108
Figura 43: Variação da população total atendida (habitantes por ano) com abastecimento de água no Distrito Federal entre 1995 e 2015.	110
Figura 44: Variação da captação média anual (m ³ /s) (eixo Y) no reservatório do rio Descoberto entre 1995 e 2015 (eixo X).	111
Figura 45: Variação do consumo médio per capita de água (l/hab./dia) (eixo Y) para o Distrito Federal entre 1995 e 2015 (eixo X).	112
Figura 46: Variação do índice de perdas na distribuição (%) no DF entre 1995 e 2015.	113

1. CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS E REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Introdução

Todos os organismos vivos, inclusive os seres humanos, necessitam de água para sua sobrevivência. Portanto, assegurar o fornecimento adequado de água é essencial para o bem-estar humano e sua vida. A escassez de água vem se tornando uma realidade generalizada durante algumas décadas (ELIASSON, 2015). A quantidade de água armazenada em todos os rios no mundo é de 2000 km³, inferior a quantidade de água retirada para usos diretos e indiretos para o homem anualmente que é de 3800 km³ (OKI; KANAE, 2006). Além disso, os sistemas de água doce são diretamente ameaçados pelas atividades humanas (VÖRÖSMARTY et al., 2010).

De acordo com ELIASSON (2015), as mudanças demográficas e práticas econômicas insustentáveis estão afetando a quantidade e a qualidade de água disponível. A urbanização desenfreada está criando enorme pressão sobre o uso e infraestrutura dos corpos hídricos, com conseqüências duradouras sobre saúde humana e ambientes urbanos. Essas mudanças tornam a água um recurso cada vez mais escasso e caro, especialmente para as populações em situações vulneráveis.

A mudança de uso do solo é um processo dinâmico e complexo que pode ser potencializado por uma série de atividades humanas. Os fatores que impulsionam estas mudanças incluem um aumento na população humana e na resposta as oportunidades econômicas (LEH et al., 2013).

Uma alternativa de monitorar essas mudanças é utilizando produtos temporais de sensoriamento remoto que fornecem dados importantes sobre as características ambientais. Quando utilizadas concomitantemente com Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), proporcionam informações valiosas sobre os mecanismos de degradação e auxiliam no diagnóstico dos tipos de UCs (COELHO et al., 2014).

Segundo Leh et al. (2013) a detecção da mudança do uso do solo é uma ferramenta para a avaliação de possíveis impactos ambientais e o desenvolvimento de estratégias eficazes de gerenciamento territorial. A erosão do solo é diretamente afetada pela mudança de uso da terra. Logo, a modelagem da mudança de uso da terra é essencial em relação à previsão de erosão e degradação do solo, um instrumento eficiente para o planejamento urbano-rural.

A erosão do solo pela água representa a maior perda de solo em comparação com outros processos de erosivos. Em grande parte dos países desenvolvidos, exigem

avaliações quantitativas das taxas de perda de solo. Como a medida das taxas de perda de solo na em grandes escalas, não é financeiramente viável, as abordagens de modelagem de erosão do solo são usadas para fazer tais avaliações. Uma avaliação da perda de solo pode ajudar a quantificar os impactos da perda de solo em grande escala, avaliar os principais efeitos do clima e entre outros (PANAGOS et al., 2015).

A intensidade da chuva, a erodibilidade dos solos, o comprimento e a inclinação das encostas, o uso do solo e a condição de manejo do solo são os principais fatores que afetam o escoamento superficial e erosão do solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Por outro lado, os fatores socioeconômicos são as causas subjacentes que afetam o escoamento superficial e a erosão do solo por meio de seus impactos nas decisões dos proprietários de terras públicas e privadas (GESSESSE et al., 2015).

Tem sido observado ao longo das últimas décadas um crescimento substancial da população do Distrito Federal e da região de seu entorno. Esse incremento populacional persistente aumentou também o consumo de água potável, resultando em sérios problemas para a sociedade (CHAVES et al., 2010; ARRAIS et al., 2010). Segundo Fonseca (2001), no sistema de abastecimento de água do Rio Descoberto, observou-se a necessidade de avaliação da sustentabilidade do uso das terras das microbacias que contribuem diretamente para o Reservatório do Descoberto, pois esse rio tem um papel essencial para o abastecimento de cerca de 60% de água para a população do Distrito Federal e entorno (CHAVES et al., 2010).

A Área de Proteção Ambiental (APA) da bacia do Rio Descoberto foi criada pelo Decreto 88.940 de 07 de novembro de 1983, abrangendo uma área de aproximadamente 40 mil hectares. O objetivo principal de proporcionar o bem-estar futuro das populações do Distrito Federal e de parte do Estado de Goiás, bem como assegurar condições ambientais satisfatórias da represa da região, visando o abastecimento de água do DF e Entorno (BRASIL, 1983).

A presente pesquisa buscou entender os efeitos da ocupação humana com atividades agrícolas, pecuárias e urbanização sobre os processos erosivos do solo e a disponibilidade hídrica na região da APA do Rio Descoberto, localizada no Distrito Federal e em parte no Estado de Goiás. Esta área de estudo foi definida como uma Unidade de Conservação de Uso sustentável devido a sua contribuição com serviços ecossistêmicos, com destaque à produção de água para o abastecimento da população do Distrito Federal e seu Entorno. Os resultados do presente estudo podem contribuir com o planejamento territorial da região e auxiliar na gestão dos recursos naturais.

1.1 Problema e Questões de Pesquisa

O rio Descoberto abastece um dos principais reservatórios de água do Distrito Federal. Atualmente, esse rio contribui no abastecimento de água de mais da metade da população do Distrito Federal (CHAVES et al., 2010). Entretanto, a população na região da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio descoberto aumentou substancialmente nos últimos 20 anos. Segundo IBGE (2010), a taxa de crescimento populacional entre 1991 e 2000 foi de 2,7% para o Distrito Federal e 5,6% para o entorno do Distrito Federal. A maior parte da migração populacional no entorno do Distrito Federal ocorreu pela busca de novas oportunidades de trabalho e moradia, tendo em vista o baixo custo da terra em regiões em desenvolvimento e, em alguns casos, devido às ocupações irregulares. As formas de apropriação territorial geraram conflitos sociais e de interesses difusos na região. O grande dilema destes conflitos consiste em garantir o direito de moradia à população pobre e estabelecer os diversos usos da terra visando a conservação do solo e recursos naturais nesta região (CARMO et al., 2005).

Em consequência do crescimento populacional e da expansão urbana nas áreas de zona rural para atender a demanda de moradia no Distrito Federal (DF) e entorno, o cenário de problemas ambientais relacionado aos diferentes usos e as ocupações das terras no sistema de abastecimento de água do rio Descoberto surgiu demanda por estudos de avaliação da sustentabilidade da ocupação e do uso das terras e seus impactos na bacia. A partir desta problemática de pesquisa, o presente estudo foi norteado pelas seguintes questões de pesquisa:

- Qual a dinâmica de uso e cobertura da terra entre 2011 e 2014? Quais as principais alterações ocorridas na vegetação natural da área de estudo?
- Quais os impactos das mudanças de uso e cobertura da terra sobre os processos erosivos do solo na área de estudo?
- Quais os níveis de fragmentação da paisagem na região da APA do rio Descoberto entre os anos de 1985 e 2015?
- Quais os possíveis fatores que contribuíram para a redução da quantidade de água disponível no DF?

1.2 Objetivo Geral

Entender os efeitos das mudanças do uso e cobertura da terra sobre os recursos hídricos da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Descoberto.

1.3 Objetivos Específicos

Os principais objetivos específicos desta pesquisa foram:

- Analisar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra na região da APA do rio Descoberto entre 2011 e 2014;
- Quantificar os processos erosivos (erosão laminar, voçorocas e ravinas) na APA do Rio Descoberto entre 2011 e 2014.
- Quantificar os efeitos das mudanças do uso da terra na fragmentação da paisagem da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015;
- Identificar as principais causas da crise hídrica no Distrito Federal, incluindo os fatores socioambientais, o consumo e a disponibilidade hídrica na região.

1.4 Justificativa

A Bacia do Descoberto é responsável por 60% do abastecimento de água do DF e entorno. Há muito tempo essa região vem sendo alvo do incremento de atividades humanas que dificultam a sustentabilidade da prestação de serviços ambientais na bacia (NUNES; ROIG, 2015).

A problemática da bacia existe por conta da ocupação intensiva e diversificada do solo e da falta de planejamento. Conseqüentemente, a região tem sido objeto de, o que leva ao surgimento de parcelamentos de terras, invasões e condomínios irregulares. Além disso, tem sido ampliado as práticas agrícolas de produção intensiva e o extrativismo mineral sem que as medidas necessárias sejam tomadas para a manutenção da preservação do solo (ICMBIO, 2014).

Por isso, é necessário aprimorar o planejamento e o ordenamento territorial a partir de políticas públicas adequadas, baseadas em medidas de práticas conservacionistas para as áreas da bacia, favorecendo o melhor desempenho desta como produtora de água. E para subsidiar a definição de políticas públicas, são necessários estudos técnicos aprofundados para identificar as causas e efeitos dos impactos ocorridos nesta área de estudo.

Na área deste estudo, devido à extensão dos processos e impactos ambientais, o sistema de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto têm sido utilizados como ferramenta de apoio na análise ambiental, de grande importância para o monitoramento de áreas prioritárias de conservação e área com interesse socioambiental (DIAS; OLIVEIRA, 2015).

1.5 Fundamentação Teórica

1.5.1 Crise Hídrica

As águas doces são um recurso essencial para a prosperidade e segurança coletiva da população e para a saúde humana. Água de boa qualidade é necessária para a erradicação de pobreza, segurança alimentar e preservação dos ciclos biogeoquímicos e ecossistemas. Além disso, a dependência econômica em relação à água é apresentada em muitos estudos e avaliações por todos os locais do mundo (ELIASSON, 2015).

Em termos de recursos hídricos, os principais usos de água pelo homem são os gastos em domicílio, na agricultura e na indústria. A agricultura é a atividade que demanda maior consumo. Não somente em montantes, mas também os percentuais de uso dessas diferentes formas de uso de água variam amplamente. O Brasil é um grande exportador de commodities minerais e de alimentos, ou seja, um país que exporta muita água em seus produtos (PINTO; HAVENS, 2016). Nos próximos anos, as expectativas de crescimento no consumo de água são bem elevadas, como ser visto na Figura 1.

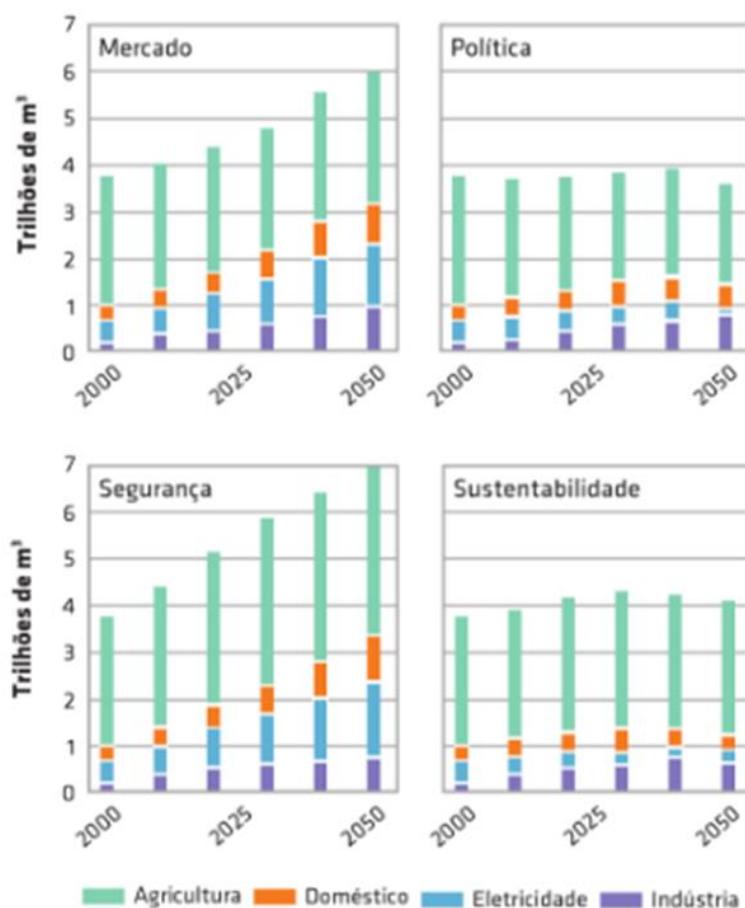


Figura 1: Uso da água (em trilhões de m³) previsto para os próximos anos (2025 e 2050) Fonte: Adaptado de *United Nations Environment Programme* (ONU, 2010).

O acesso à água potável tem se tornado cada vez mais o tema das discussões políticas internacionais devido à crescente crise hídrica mundial. Estatísticas recentes demonstram que cerca de 884 milhões de pessoas não têm acesso a fontes confiáveis de água. Tem-se que aproximadamente 1,5 milhões de crianças com idades de até cinco anos morrem todos os anos devido à falta deste recurso, assim como 443 milhões de aulas são perdidas anualmente devido a doenças relacionadas à qualidade da água e do saneamento básico (ONU, 2010).

Segundo TUNDISI (2008), as crises hídricas são decorrentes de fenômenos globais (mudanças climáticas e alterações no funcionamento global do clima) e de ações humanas intensivas, como desmatamento, urbanização, usos do solo, construções de infraestrutura (canais, represas, rodovias), com efeitos sinérgicos que afetam milhões de pessoas. Dentre todas essas ações, a urbanização é um dos principais problemas. A complexidade e a severidade das crises hídricas demandam soluções que vão desde medidas estruturais e de governança avançada até planejamento estratégico de longo prazo (CÔRTEZ et al., 2015).

O Brasil é um país privilegiado pela grande disponibilidade hídrica, pois aproximadamente 12% da água doce disponível no mundo estão contempladas pelo território brasileiro (ANA, 2012). O modelo da gestão de recursos hídricos brasileiro, instituído pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, revela que em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais. Assim, assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água é o objetivo da legislação, em especial por meio do instrumento chamado outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, que tem como objetivo assegurar o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

FERREIRA et al.(2009) eCHAVES et al. (2010) avaliaram a adequação do uso e ocupação das terras em relação à aptidão agrícola em diferentes microbacias do Distrito Federal. Como resultado, os autores afirmaram que a maior parte das ocupações na região de estudo não observava a potencialidade e limitação natural das terras, provocando problemas ambientais e degradação dos recursos naturais, particularmente solos.

1.5.2 APA da Bacia do Rio Descoberto - DF/GO

O Sistema Integrado do Rio Descoberto dentro da bacia abastece cerca de 60 % da população atendida do Distrito Federal (DF), com disponibilidade hídrica de 6.614 l/s e uma vazão média de água tratada em 2006 de 4.009 l/s. A captação do Rio

Descoberto, maior manancial de abastecimento do DF, contribui com 99% da produção do Sistema Descoberto (GDF, 2017).

A água captada no lago dentro da bacia é bombeada através de duas linhas de 1,2 m de diâmetro e cerca de 14 km de extensão para a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Rio Descoberto, com capacidade de tratamento de 6.000 l/s. A Barragem do Rio Descoberto foi inaugurada no ano de 1974 e hoje é responsável pelo abastecimento das cidades de Taguatinga, Ceilândia, Samambaia, Riacho Fundo, Recanto das Emas, Santa Maria, Gama, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Guará e Cruzeiro, reforçando o suprimento para Brasília (GDF, 2017).

A APA Bacia do Rio Descoberto foi criada pelo Decreto 88.940 de 07 de novembro de 1983, abrangendo uma área de 39.100 ha. Nesta área está incluída área correspondente a 8.411 hectares, referentes aos módulos I, III e IV da Floresta Nacional de Brasília, como também a Reserva Biológica do Rio Descoberto (distrital) com 434,5 ha, o Parque Ecológico Veredinha com 29 ha (distrital) e o Parque Estadual do Descoberto no Estado de Goiás com 1935,6 ha.

O decreto de criação da APA estabeleceu como medida prioritária o planejamento ambiental relacionando as atividades a serem incentivadas ou restringidas na região. O objetivo do zoneamento era implementar uma ferramenta legal destinado à promoção do bem-estar atual e futuro das populações do Distrito Federal e de parte do Estado de Goiás, bem como, assegurar condições ecológicas satisfatórias às represas da região (BRASIL, 1983).

A APA é uma área de abastecimento de água às populações urbanas do DF e zonas agrícolas no Projeto Integrado de Colonização Alexandre Gusmão- PICAG. Quase 28% da APA Bacia do Rio Descoberto encontram-se dentro de unidades de conservação de usos mais restritos. A APA Bacia do Rio Descoberto localiza-se em sua maior parte no Distrito Federal, nas regiões Administrativas de Brazlândia, Ceilândia e de Taguatinga. Uma parte menor está situada no Estado de Goiás, abrangendo parte dos Municípios de Águas Lindas e Padre Bernardo (ICMBIO, 2014).

O crescimento populacional no entorno foi maior do que o do DF nos últimos 20 anos. Segundo CENSO do IBGE (2010), a taxa de crescimento populacional entre 1991 e 2000 foi de 2,7% para o DF e 5,6% para o entorno do DF. A migração do DF para o Entorno ocorre, em geral, pela busca de novas oportunidades de moradia e estilo de vida, visando o baixo custo de regiões ainda em desenvolvimento ou até mesmo, áreas irregulares. De acordo com CARMO et al.(2005) as formas de apropriação

territorial geram conflitos sociais e de interesses que apresentam limites. O grande dilema destes conflitos consiste em garantir o direito de moradia à população pobre e estabelecer os usos diversos visando a conservação do solo e recursos naturais desta região.

Diante do cenário de problemas ambientais relacionados aos diferentes usos e ocupações das terras no sistema de abastecimento de água do Rio Descoberto vem notando uma necessidade de avaliação da sustentabilidade do uso das terras da bacia que abastece cerca de 60% da população do Distrito Federal e entorno (FONSECA, 2001).

O Rio Descoberto é um dos principais reservatórios de água que o DF. Hoje em dia, esse rio contribui no abastecimento de mais da metade da população do Distrito Federal (CHAVES et al., 2010). Segundo a ADASA (2012), o reservatório foi implantado em 1974 este reservatório tem aproximadamente 12 km² de extensão, sendo responsável por 60% do total de água produzida pela CAESB para o DF.

De acordo com o GDF (2017), o volume de chuva nos anos de 2014, 2015 e 2016 manteve-se abaixo da média, o que acarretou a redução da vazão do Rio Descoberto. Os índices pluviométricos no reservatório do Descoberto, no período de setembro a dezembro dos anos de 2015 e 2016 foram, respectivamente, de 368,80mm e 412,40mm. Estes volumes de chuvas estão, portanto, 42,5% (2015) e 35,7% (2016) abaixo da média histórica de 641,40mm para o período. Em decorrência de um cenário de estiagem dessas proporções, não houve a recuperação do nível do reservatório da Barragem do Descoberto, que, em janeiro de 2017, passou a operar abaixo de 20% de sua capacidade máxima operacional.

O Governo do Distrito Federal (GDF) aprovou medidas emergências no ano de 2017 para conter a crise hídrica no DF, assinando o Decreto nº 37.976, de 24 de janeiro de 2017. Estas medidas foram trabalhadas e aprovadas como plano de ação ao enfrentamento da Crise hídrica. Dentre as ações aprovadas:

Foram suspensas as permissões para perfurações de poços artesianos e cisternas, além da captação de água por caminhões-pipa, enquanto durar a crise hídrica.

Foi elaborado um Plano de Captação Emergencial de Água no Lago Paranoá, com o objetivo de reforçar o abastecimento nas Regiões Administrativas atendidas pela Barragem do Descoberto.

Foram promovidas ações de monitoramento da quantidade e qualidade dos recursos hídricos: vistorias nos locais afetados, identificação de atividades

potencialmente poluidoras e do uso irregular do solo, monitoramento dos rios, inspeções das outorgas e caracterizações de crimes ambientais,

Foram implantadas restrições de uso da água, que levou em consideração três fatores: o ritmo de queda dos reservatórios, as previsões de chuva para o Distrito Federal e o nível de consumo de água pela população. O racionamento de água, que consiste em sistema de rodízio, visando reduzir o consumo em uma rede de abastecimento, também foi implantado. A redução na pressão da rede de distribuição foi implantada em todo o território do DF.

No meio rural, foram planejadas as seguintes ações: aplicação de novas tecnologias poupadoras de água; contratação dos serviços de engenharia para revitalização dos canais que abastecem os reservatórios afetados pela Crise; campanhas educativas para consumo racional dos recursos hídricos e novos modelos experimentais de manejo de irrigação para agricultores. Tudo isso, aliado à administração de conflitos no uso da água e nos usos alternativos dos recursos hídricos, como por exemplo, captação de águas da chuva.

1.5.3 Planejamento Territorial

O conceito de planejamento territorial surge na década de 1970 com a Carta Europeia de Ordenamento do Território, o que possibilitou um maior e mais detalhado conhecimento do meio físico e de sua utilização pelo homem. Esse conceito nasce juntamente às grandes discussões sobre o desenvolvimento sustentável (BECKER; EGLER, 1997; SPRÖL; ROSS, 2006)

Segundo (SANCHEZ; SILVA, 1995), não há planejamento sem um zoneamento geoambiental prévio que possibilite a integração interdisciplinar de todos os conhecimentos e percepções da diversidade do meio físico. O zoneamento geoambiental constitui um marco de referência estratégica para conceber o planejamento do território, tanto nas funções bióticas quanto abióticas.

O zoneamento ambiental foi previsto como um dos instrumentos da PNMA (Política Nacional do Meio Ambiente) – Lei 6.938/81, tendo por objetivo “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”.

Nesse sentido, o principal objetivo do zoneamento ambiental é a proteção do meio ambiente, bem como a limitação de uso do solo particular, incidindo diretamente na limitação da propriedade (COSTA; NISHIYAMA, 2012). O uso de terras em áreas consideradas vulneráveis, especialmente no ponto de vista agrícola, tem acelerado o processo de perda de solo que ocorre naturalmente, em decorrência da associação do clima com os tipos de litologia, relevo, solo e cobertura vegetal (MOTA; VALLADARES, 2011).

Evidencia-se, então, a grande importância de se conceder aos estudos de planejamento um levantamento detalhado dos atributos do meio físico, visualizando os impactos ambientais e os custos de produção, pois o custo será bem menor ao se conhecer a área que vai ser ocupada, ou seja, é necessário planejar para depois ocupar (COSTA; NISHIYAMA, 2012).

Segundo DÉSTRO e CAMPOS(2006) o levantamento do uso do solo é a principal etapa para a realização de qualquer ação de planejamento ambiental, sendo uma das primeiras etapas a ser realizada. Para isso, tem sido largamente utilizado as geotecnologias, incluindo os SIGs e o Sensoriamento Remoto, devido a redução de custos e ao ganho de tempo.

1.5.4 Sensoriamento Remoto e SIG

A invenção da câmara fotográfica deu início ao Sensoriamento Remoto, cujo teve finalidade militar e eram feitos os registros com câmaras fotográficas de disparo automático e ajustável, em pombos correio(MENESES; ALMEIDA, 2012). Com o passar do tempo, os pombos foram trocados por balões não tripulados e em seguida aviões (FIGUEIREDO, 2005).

Os balões foram a cada dia voando mais alto a cada dia, dotados de equipamento mais potente (câmeras, sensores, etc.). Isso ocorreu até ser dado o grande salto para o Sensoriamento Remoto, quando se começou a usar satélites (mais caros, porém mais duradouros) de alta tecnologia (FIGUEIREDO, 2005).

Os fundamentos das técnicas de Sensoriamento Remoto se dão em um processo de interação entre a radiação eletromagnética e as diversas superfícies, que serão estudadas do ponto de vista da reflexão de radiação (MENESES; ALMEIDA, 2012). Devido à extensão de atuação dos processos ambientais, os sistemas de informação geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto têm sido utilizados como

ferramenta de apoio na análise ambiental, de grande importância para o monitoramento de áreas prioritárias de conservação (DIAS; OLIVEIRA, 2015).

Conforme CANDEIAS et al.(1998), o geoprocessamento é uma tecnologia de custo relativamente baixo e que supre a organização do conhecimento adquirido localmente, utilizando-se de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Esta tecnologia influencia de maneira crescente as áreas de cartografia, transportes, comunicações, energia, análise de recursos naturais e planejamento urbano e regional.

Com a evolução da tecnologia de geoprocessamento e de softwares gráficos vários termos surgiram para as várias especialidades. O nome Sistemas de Informação Geográfica (ou *GeographicInformation System* - GIS) é muito utilizado e em muitos casos é confundido com geoprocessamento. O geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto um SIG ou GIS processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies (BURROUGH, 1986).

A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser uma excelente ferramenta, visto que os mapeamentos podem ser realizados e com maior precisão, além de permitir a delimitação das demais categorias que na legislação se apresentam de uma forma subjetiva, como é o caso das Linhas de Cumeada, Topos de Morros e de Montanhas (NEVES et al., 2009).

1.5.5 Análise de Paisagem

De acordo com Crepani et al. (2001) as unidades da paisagem natural são classificadas a partir de: gênese, constituição física, forma, estágio de evolução e tipo de cobertura vegetal que se desenvolve sobre ela. Por isso, o estudo da paisagem é considerado uma área multidisciplinar e complementar.

De acordo com Couto (2004), a paisagem está sempre inserida dentro do conceito de “mosaico de manchas” ou elementos que estão em constante interação, mesmo que sendo interpretada por vários ângulos. O mosaico está relacionado com a área sujeita a investigação (extensão). A noosfera (forma de pensar) muda de acordo com a ciência e o meio cultural que permeiam uma sociedade.

A Ecologia da Paisagem é o estudo das inter-relações dos elementos físicos da paisagem como meio da vida. Apesar disso, não existe um consenso entre os estudiosos da área, principalmente entre geógrafos e ecologistas da paisagem. Portanto, para entender o conceito científico de paisagem hoje, é importante focar em qual a área da

ciência os elementos da paisagem serão trabalhados, considerando que as ciências apresentarão diferentes conceitos sobre paisagem (SIQUEIRA et al., 2013).

Os conceitos usados na atualidade para definir uma paisagem são determinados a partir de ferramentas estimadas em computador e por métodos de processamento de informações geográficas, como o processamento digital de imagens. Considerando o estudo da paisagem como primordial frente à compreensão dos problemas relacionados ao desenvolvimento sustentável (LANG & BLASCHKE, 2009).

Um importante indicador das condições ambientais é a cobertura florestal. Principalmente pela função que essa cobertura tem de regular os processos hidrológicos e do ecossistema, se tornando um importante serviço ambiental na conservação da qualidade das águas, solo, ar e pela redução dos riscos a desastres ambientais (LIMA; ROCHA, 2011).

Como grandes ameaças à biodiversidade global estão a fragmentação da paisagem e a supressão da vegetação nativa. Essa mudança interfere nos parâmetros demográficos de diferentes espécies e, também, na estrutura e na dinâmica dos ecossistemas (MYERS et al., 2000).

A exploração exagerada e desordenada do solo pode gerar um dos principais impactos ambientais: a fragmentação florestal. Essa exploração ocorre por conta do desenvolvimento urbano e da ampliação da fronteira agrícola, que geram pressões sobre os ecossistemas florestais, aumentando os processos de fragmentação e perda da diversidade biológica (LIMA; ROCHA, 2011).

De acordo com estudos já existentes, a fragmentação florestal causa diversos efeitos, alterando o tamanho e a dinâmica das populações, a composição e a dinâmica das comunidades, as interações tróficas e os processos ecossistêmicos (LAURANCE; VASCONCELOS, 2009).

Para SLAVIEIRO (2007), a análise da paisagem em regiões muito fragmentadas tem importância fundamental para estabelecer modelos de preservação e conservação da biodiversidade, por determinar o grau de comprometimento ecológico/geográfico da área escolhida para análise.

O Fragstats consegue calcular a estrutura da paisagem usando mais de 50 métricas da paisagem e é uma ferramenta de domínio público. Por ser um programa de estatísticas espaciais bastante versáteis, o Fragstats consegue projetar e quantificar a composição, configuração e conectividade dos objetos espaciais dentro de uma imagem

de satélite. Ele é um software projetado para quantificar as extensões e as distribuições espaciais dos fragmentos representados nas imagens (COUTO, 2004).

1.5.6 Erosão

A erosão do solo é considerada um dos principais problemas ambientais em escala mundial, este processo proporciona perda de solo e nutrientes, além do mais, está associado a problemas como inundações, assoreamento, poluição de corpos hídricos e conseqüentemente, problemas na disponibilidade hídrica global (WANG et al., 2016).

Segundo MATA et al. (2007), a ocupação desordenada e o manejo inadequado do solo são ações humanas que podem provocar um aumento substancial da taxa de erosão e sedimentação. A remoção da vegetação natural por meio do desmatamento intensifica o processo erosivo podendo tornar a taxa de perda de solos superior à taxa de formação.

O uso da terra é um dos fatores chave que influencia a suscetibilidade do solo à erosão. Mudanças provocadas pela ação humana na sua estrutura natural resultam no aumento da degradação do solo e na fragilidade do mesmo à erosão (CEBECAUER; HOFIERKA, 2008; MINELLA et al., 2010).

Lelis e Calijuri (2010) indicou que o agente erosivo mais frequente que origina processos erosivos no Brasil é a água, que conta com clima tropical como fator agravante. A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos, e ela atua a partir do impacto das gotas de chuva e o conseqüente arraste de partículas do solo.

O principal mecanismo de degradação do solo se dá através do arraste das partículas menores e ricas em nutrientes ocasionando um decréscimo na fertilidade do solo e por conseqüência, uma redução de produtividade para as culturas ou a necessidade de utilização de corretivos e fertilizantes em maiores quantidades. Em geral, as perdas de solo causadas pela erosão hídrica diminuem a capacidade de retenção por conta da redução da espessura do solo, uma distribuição da água no perfil do solo que eleva o escoamento superficial e conseqüentemente, aumenta as taxas de erosão do solo (SANTOS et al., 2010).

A ação erosiva causada pela água das chuvas tem abrangência em quase toda superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que

agrava ainda mais a erosão (BENDA et al., 2007). Segundo SANTOS et al. (2010) a erosão hídrica dos solos e a consequente produção de sedimentos têm sido preocupação constante em todas as situações relativas à gestão do uso do solo e da água.

Considerando a gravidade da erosão do solo e seus impactos, é necessário que medidas adequadas de gestão sejam empreendidas. Para isso, um bom conhecimento das variações espaciais da erosão do solo é necessário para o planejamento dos esforços de conservação. A gestão diferenciada e o ordenamento do uso do solo podem ser implementados para lidar com os vários problemas de degradação do solo. Essas tentativas devem levar em consideração o biofísico e condições socioeconômicas dos respectivos locais (SHIFERAW, 2011).

Segundo CHAVES et al. (2010), a remoção de camadas do solo pelas águas pluviais que escoam na superfície das vertentes pode ser expressa através de dois grandes grupos de processos: a erosão em lençol, através do escoamento laminar e a erosão linear, constituindo-se em pequenos sulcos, ravinas e voçoroca, ocasionado pela concentração do escoamento.

Como parte do planejamento e controle da erosão, identificar as áreas críticas auxilia na identificação e monitoramento dos focos erosivos. Foi proposto uma modelagem por Wischmeier e Smith em 1978, internacionalmente conhecida, como EUPS (USLE), equação universal de perda de solos, ela é difundida por estimar o processo erosivo de uma dada região.

1.5.7 EUPS (Equação Universal de Perda de Solo)

A erosão do solo é um processo ambiental chave que reflete características específicas do solo, regimes climáticos, cobertura vegetal e manejo do meio ambiente, dependendo de fatores naturais e antropogênicos (QUINTON et al., 2010).

O uso da terra por algumas atividades humanas intensificam os processos erosivos, porque alteram as condições naturais da cobertura verde e das propriedades intrínsecas do solo, compactando o solo e impedindo a infiltração de água e redirecionando o fluxo de água (FARINASSO et al., 2006). Devido a essa preocupação ambiental, muitos modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos para descrever e prever a ocorrência desse processo de erodibilidade do solo.

Zing (1940) publicou a primeira equação para calcular a perda de solo em campo, seguido de estudos, foi recebendo contribuições e aperfeiçoamentos da equação proposta. Laws (1940) e Ellison (1944) identificaram a chuva com um fator

determinante para a ocorrência da erosão, Smith (1941) acrescentou os fatores de cobertura de solo e práticas conservacionistas e Browning (1947), incorporou o fator de erosividade da chuva e Musgrave (1947) apresentou a equação com as variáveis de intensidade da chuva, relevo, o tipo de solo e a cobertura vegetal local. Em 1958, Wischmeir propôs uma metodologia para estimativa da erosividade da chuva e em conjunto com Smith, eles desenvolveram a primeira versão da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que tiveram melhorias em 1965 e 1978 (BARRETTO et al., 2008).

Segundo a Equação 1, proposta por Wischmeir e Smith (1978), pode ser representada por:

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

Onde:

A = perda solo, em t/(ha.ano);

R = fator de erosividade da chuva, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹;

K = fator de erodibilidade do solo, em t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹mm⁻¹;

L = fator de comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa;

S = fator de declividade, com base nos valores, em porcentagem, da declividade(adimensional);

C = fator de uso e manejo (adimensional);

P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Foram propostas várias modelagens para avaliar erosão do solo. A mais utilizada é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), desenvolvida por WISCHMEIER et al. (1971)vem sendo aplicada em contextos territoriais muito diferentes, baseada em características de regime de chuva específica, tipo de solo, topografia e uso do uso. O modelo EUPS estima a perda anual de solo por unidade de área na base do solo, variáveis vegetativas e climáticas, incluindo erodibilidade do solo, intensidade da precipitação, comprimento e declive da inclinação, uso da terra e práticas conservacionistas(RENARD, 1997).

A modelagem da EUPS, ainda que de forma qualitativa, fornece subsídios relevantes para a elaboração do planejamento territorial e ambiental de bacias

hidrográficas. A adequação do modelo da EUPS em ambiente computacional de um SIG permite uma otimização e resultados espaciais mais precisos (HOYOS, 2005).

Segundo FROTA (2012), os resultados deste modelo são imagens ou grades contendo valores de perda de solo na forma contínua, ou seja, que variam ao longo do terreno de pixel a pixel, não ficando restrita apenas a uma determinada unidade de paisagem. Os parâmetros podem ser ajustados em conformidade com o interesse do estudo considerando diferentes cenários de uso e manejo do solo, assim como de variações ao longo do tempo.

A EUPS estima a perda de solo por erosão laminar, perdas acima de 100 toneladas/ha.ano são processos erosivos de alta intensidade, como ravinas e voçorocas. Esta metodologia não tem capacidade de modelar estes processos que são de grande importância para o planejamento estrutural de uso da terra numa bacia. (SOUZA; MATRICARDI, 2012).

Esta equação é um dos métodos de estimativa de perda de solo indireto mais empregado atualmente, como pode ser observados em vários trabalhos científicos com o de MANCINO et al. (2016) na região da Itália, no Mediterrâneo, BERA (2017) realizado na Índia.

1.5.8 Fator R

A erosividade das chuvas (fator R) é definida como o conjunto de características da chuva, como a distribuição do tamanho, velocidade de queda, o número, o momento e a energia cinética das gotas. Também representa a capacidade da chuva em causar erosão, relacionada com a sua intensidade, duração e frequência. O fator R é um dos mais importantes da EUPS, por ser a chuva a força motriz da erosão e ter uma influência direta sobre a quebra de agregados e o escoamento superficial, sendo considerado o fator mais ativo da erosão hídrica. No Brasil, como em diversas partes do mundo, a falta de uma base de dados pluviométricos confiáveis, tanto em quantidade, quanto em qualidade, faz com que as informações relativas à erosividade estejam disponíveis para poucas localidades e de difícil acesso para estudos ambientais (OLIVEIRA et al., 2015; MACHADO et al., 2008; MOREIRA et al., 2008).

Segundo a Organização de Agricultura e Alimentos das Nações Unidas (FAO, 1967), ALMEIDA (2009) e SANTOS (2010), fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em dado local, de causar erosão em uma área sem proteção. As chuvas serão consideradas erosivas e individuais

desde que sejam maiores ou iguais a 10 mm ou maiores ou iguais a 6,0 mm, desde que ocorram em, no máximo, 15 min e separadas entre si por um período de no mínimo 6 h com uma lâmina de chuva de 1,0 mm ou menos.

Para determinação do Fator “R” da EUPS, registros pluviométricos de períodos de chuva de 20 a 30 anos devem ser analisados (CASSOL et al., 2003). A determinação da erosividade da chuva envolve em atividades de seleção e leitura de uma série de registros de chuvas. Este trabalho requer empenho porque os dados, em geral, são dados escassos e, muitas vezes, de difícil acesso (MELLO et al., 2007). No Brasil, as informações relativas à erosividade estão disponíveis apenas para pequeno número de locais e com uma certa dificuldade de acesso (MOREIRA et al., 2008).

Segundo MOREIRA et al. (2008), a erosividade da chuva pode ser explicada como uma avaliação numérica da capacidade da precipitação em erodir um determinado solo numa região. A distribuição espacial da chuva e sua variabilidade permitiram estudos da EUPS através de métodos de isolinhas, mapeamentos utilizando interpolação para estimar o fator R em toda a localidade da área de estudo.

1.5.9 Fator K

A erodibilidade do solo é uma propriedade que representa a sua susceptibilidade à erosão, enquanto o fator da erodibilidade (fator K) é representado pela relação entre a erosividade da chuva e a perda deste solo. Conforme as normas da EUPS, o tipo de solo de cada região deve ser estudado e atribuído uma estimativa do fator K para determinar a erodibilidade da região (MANNIGEL et al., 2008).

A erodibilidade do solo traduz-se pelas condições de reação do solo aos processos erosivos de natureza hidrológica. Estes processos consistem na desagregação das partículas do solo e seu transporte, pelo impacto das gotas da chuva e escoamento superficial, seguido de deposição localizada devido à rugosidade do terreno, acompanhando outros 18 processos de interação água-solo dos quais a infiltração e o fluxo da água no perfil desempenham um papel igualmente relevante (FROTA, 2012).

Para determinação dessa estimativa de erodibilidade do solo, vários estudos e métodos foram elaborados, entre eles destacam-se os de Wischmeier et al. (1971), Denardin (1990) e Bloise et al. (2001).

Bloise et al. (2001) adotou para a região de solos da Bacia do Olaria no DF (dentro do APA), a erodibilidade estimada pelo monograma de Wischmeier et al. (1971), por ser, entre os métodos indiretos na literatura, o mais completo, porque é

contemplado os aspectos texturais, estruturais e orgânicos, além da permeabilidade. A Tabela 1 expõe o valor médio de cada grupo de solos estudados pelos autores, determinado pelo o método indireto de Wischmeier et al. (1971).

Tabela 1: Classificação proposta por Wischmeier et al. (1971) adaptada por Bloise et al.(2001) para os coeficientes do fator K para cada tipo de solo estudado pelos autores.

Classe de Solo		Fator K
Latossolo Vermelho	<i>LVd1</i>	0,0263
Latossolo Vermelho	<i>LVd2</i>	0,0092
Latossolo Vermelho	<i>LVd3</i>	0,0144
Latossolo Vermelho	<i>Outros</i>	0,0151
Latossolo Vermelho – Amarelo	<i>LVAAd1</i>	0,0171
Latossolo Vermelho – Amarelo	<i>LVAAd2</i>	0,0237
Latossolo Vermelho – Amarelo	<i>LVAAd3</i>	0,0144
Latossolo Vermelho – Amarelo	<i>Outros</i>	0,0184
Cambissolo	<i>CXd1</i>	0,0237
Cambissolo	<i>CXd2</i>	0,0158
Cambissolo	<i>CXa1</i>	0,0263
Cambissolo	<i>CXa2</i>	0,0210
Cambissolo	<i>Outros</i>	0,0217
Gleissolos	<i>GMd1</i>	0,0158
Gleissolos	<i>Gmd2</i>	0,0273
Gleissolos	<i>Gmd3</i>	0,0395
Gleissolos	<i>GXa1</i>	0,0355

1.5.10 Fator CP

O fator de Cobertura do solo e Práticas e Gerenciamento de cultivos deve ser considerado de acordo com a EUPS, com qual padrão de uso da terra determina a quantidade de processo de erosão. Este fator expressa o preparo do solo, cobertura vegetal e presença das culturas, ou seja, as inúmeras interações do solo com a cobertura que ocorrem em uma determinada área (VINAY; RAMU, 2015).

Bertoni e Lombardi Neto(2008)conceituam os fatores de C e P de forma separada. O fator C (uso e manejo) foi definido como a relação esperada entre as perdas de solo de um determinado uso, segundo um manejo qualquer, e as perdas correspondentes de um solo na mesma área, mantendo o solo nu. O fator P está relacionado a intensidade de perda desta prática de solo em condições normais e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (sem medidas de terraceamento ou técnicas de plantio em curvas de nível).

Os fatores C e P são considerados a participação antrópica no processo. São os únicos fatores que estão relacionados diretamente com a prática do homem em meio ao natural. Sabe-se que um solo sem cobertura vegetal é geralmente mais suscetível à erosão do que outro recoberto. A proteção desse solo depende basicamente da etapa de crescimento e desenvolvimento da vegetação associada à sequência de culturas e ao manejo. Levando em consideração o uso do homem, este é um dos principais fatores de prevenção da erosão, porque é possível a alteração e desenvolver tecnologias para aperfeiçoar o uso do solo e diminuir o escoamento superficial e a energia cinética do impacto da chuva no solo (dependendo da cobertura e do uso) (NEKHAY et al., 2009)

Levando em consideração ao uso e manejo do solo, a técnica de mapeamento do uso da cobertura do solo através de imagens de satélite vem sendo bem utilizada para o cálculo da EUPS.

1.5.11 Fator LS

O comprimento da rampa (L) é definido como a distância desde a origem do fluxo superficial até o ponto onde o declive decresce, gerando a deposição das partículas erodidas do solo. Pode ocorrer também quando o escoamento superficial chega a uma rede de drenagem ou corpo d'água. Levando isso em consideração, a perda de solo aumenta ao maior comprimento da rampa, o fluxo superficial é proporcional (diretamente) a longitude do declive, porque ao aumentar a distância entre o ponto máximo e o mínimo de altitude aumenta o arraste da água sob o solo é gerado um número maior de partículas de solo (MITASOVA et al., 1996).

Inicialmente, os métodos para a estimativa do comprimento de rampa foram técnicas manuais, dificultando as análises em escalas em níveis de bacias hidrográficas e escalas globais, não sendo factível devido a limitação de recurso humano e tempo (VAN REMORTEL et al., 2001). Com o surgimento de trabalhos em SIG, os estudos de terreno avançaram e a possibilidade de modelar o relevo contribuiu para equação da EUPS e também para o fator L.

Segundo o trabalho realizado por SHIFERAY (2011) para a estimativa do fator L modificado da EUPS, o modelo proposto para o L, conforme Equação 2:

$$L = \frac{[(A+D^2)^{m+1} - (A)^{n+1}]}{D^{m+2} \cdot x (22,13)^m} \quad (2)$$

Onde,

L = fator de comprimento de rampa de um pixel em coordenadas;

A = área de contribuição da célula em coordenadas (m²);

D = tamanho do pixel

x = coeficiente função do aspecto para a grade do pixel em coordenadas;

m = coeficiente função da declividade para a grade do pixel em coordenadas;

O fator S pode ser definido como a declividade do terreno, um dos principais fatores contribuintes para a aceleração da enxurrada de água e conseqüentemente o aumento do potencial de erosão local. O fator S modificado da EUPS é definido de acordo com MOORE e BURCH(1986) e SHIFERAY (2011) pelo modelo proposto para cálculo do fator S (Equação 3).

$$S = \left(\frac{s}{0,0896}\right)^{1,3} \quad (3)$$

Onde,

S = fator de declividade de um pixel em coordenadas;

s = seno do ângulo da vertente com a horizontal;

A produção de sedimentos por unidade de área é proporcional a 3 parâmetros: a = forma da bacia, l = comprimento de rampa, e s = declividade. De acordo com MOORE e BURCH (1986), os parâmetros originais do fator LS da EUPS são mantidos e demonstrados para o cálculo final.

Segundo BESKOW et al.(2009) a intensidade da erosão hídrica pode ser fortemente afetada pelo comprimento do declive (fator L) e sua angulação (fator S). Nas aplicações práticas da EUPS os fatores L e S são avaliados agregados. É considerado um fator de difícil obtenção, principalmente para trabalhos realizados em bacias hidrográficas e normalmente viabilizados pela adoção de softwares que efetuam seu cálculo (RANIERI et al., 1996)

De acordo com MINELLA et al. (2010), a determinação do fator LS não é considerada simples, devido à dificuldade de identificar o início da formação do escoamento e dos locais de deposição de solos. Essa situação torna impraticável o cálculo tradicional do fator LS em áreas de grande extensão e de relevo complexo.

1.5.12 Voçorocas

O termo voçoroca é também conhecido como boçoroca, principalmente no Estado de São Paulo. Outros nomes são usados para designar voçoroca, como erosão em garganta ou em grotas, *gully erosion* (AMERICA, 2008), *lavaka*(THOMAS, 1994), *ravine*(MATHIEU; LOZET, 2011).

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que foram resultadas da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Quando um sistema natural não sustenta a energia disponível para dissipar, o sistema se adapta, de modo a atingir um novo estado de equilíbrio. As ravinas são consideradas incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade. Acima desses valores, as incisões seriam chamadas de voçorocas (GUERRA; JORGE, 2012).

Segundo LUFFMAN (2015), o processo erosivo de voçorocas começa quando o escoamento se concentra nos canais do solo e aumenta a velocidade, resultando numa ampliação dos sulcos e atingindo superfícies mais profundas da terra ao longo do tempo. A *Soil Science Society of America* (2008) define as voçorocas como incisões que apresentam profundidades superiores a 30,48 cm, podendo atingir entre 22,86 m a 30,48 m. Voçoroca é o estágio mais avançado de erosão acelerada correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de surgências d'a água (NASCIMENTO et al., 2016).

De acordo com Guerra e Jorge (2012), as voçorocas são formas resultantes de processos erosivos acelerados que evoluem no tempo e no espaço. Por isso, a análise do espaço temporal dos processos erosivos favorece a compreensão da dinâmica da erosão e, conseqüentemente, na adoção de práticas de conservação dos solos. Quando os fatores acima descritos se combinam com os elementos que atuam sub superficialmente, as ravinas bastante evoluídas, cuja largura já atinge alguns metros, aprofundam-se atingindo o lençol freático fazendo com que este aflore à superfície.

Algumas vezes, as voçorocas se aprofundam tanto, que chegam a atingir o lençol freático, tornando um risco grave para qualidade hidroambiental local. Sobre isso, Ferreira et al. (2007) reitera que, as voçorocas são consideradas um dos piores problemas ambientais em áreas de rochas cristalinas nas regiões tropicais de montanha onde são frequentes e podem alcançar grandes dimensões.

Os processos de erosão e degradação do barranco estão relacionados ao crescimento populacional e a efeitos inter-relacionados como a expansão das terras

agrícolas, sobrepastoreio e desmatamento (RAHMATI et al., 2016). As voçorocas constituem os processos erosivos de maiores proporções e ocasionam a perda de solo, gerando conseqüentemente prejuízos financeiros, sociais e ambientais.

Segundo Tedesco et al.(2014), para que ações mitigatórias ou corretivas possam ser aplicadas, faz-se necessário o mapeamento e monitoramento dessas feições erosivas, os quais podem ser realizados por medidas conduzidas no local ou por sensoriamento remoto. As medidas efetuadas no local, apesar de amplamente utilizadas, requerem o caminhamento e instalação de equipamentos nas bordas e interior das voçorocas, o que pode acarretar o agravamento dos processos erosivos já instalados e o risco para os executores do levantamento. Em função disso, o monitoramento por sensoriamento remoto torna-se bastante atrativo.

As voçorocas podem ser classificadas também quanto ao tamanho, pelo volume erodido em m³, conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação do tamanho da voçoroca pelo volume erodido (m³) proposto por Vieira et al. (2005).

Ordem	Volume Erodido	Tamanho
01	Até 999 m ³	Muito pequena
02	1.000 m ³ até 9.999 m ³	Pequena
03	10.000 até 19.999 m ³	Média
04	20.000 até 40.000 m ³	Grande
05	Mais de 40.000 m ³	Muito Grande

Este tipo de classificação proposto na Tabela 2 ajuda a visualizar a magnitude da feição e o volume erodido (geralmente provocando assoreamento de canais próximos), esta classificação proposta por Vieira et al. (2005) auxilia na detecção e serve de subsídio para projetos de contenção e planejamento estrutural, uma vez que conhece o quanto de material foi perdido e torna-se possível calcular reposições, caso necessário.

1.6 Área de Estudo

1.6.1 Clima

O clima na região do Distrito Federal é caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa e quente, e outra fria e seca, como é característico da região Central do Brasil. A estação chuvosa está entre outubro e abril e a seca, entre maio e setembro. As taxas de pluviosidade acompanham essa dualidade climática, o mês com maiores taxas de pluviosidade é janeiro (média de 320 mm/mês) e os meses de junho e julho com taxas menores de (50 mm/mês). A média anual varia entre 1500 a 2000 mm, sendo que a média de áreas do planalto central (região do Cerrado) é de 1300 a 1700 mm (BICALHO, 2006; CARMO et al., 2005).

Segundo dados da ANA e CAESB, as médias mensais da APA do Descoberto (Figura 2) e a média anual de precipitação da APA Bacia do Rio Descoberto é de 1482,38 mm, seguindo a média do DF.

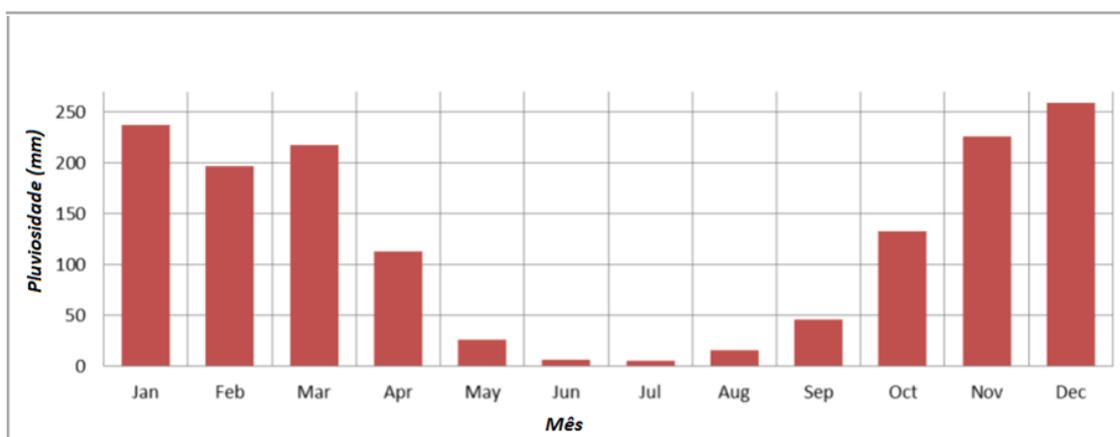


Figura 2: Médias mensais de pluviosidade da região de estudo extraída do Plano de Manejo da APA do Rio Descoberto, adaptado de ICMBIO (2014).

A temperatura média anual no DF varia entre 13 e 22 graus Celsius, sendo outubro o mês mais quente (20 a 22 °C) e junho o mais frio (16 a 18 °C). A umidade relativa do ar tem uma grande variação por conta da sazonalidade da região, meses como agosto e setembro, o valor mínimo é de 11%, enquanto em meses com maior taxa de umidade, ela flutua em torno de 75-80 % (BICALHO, 2006; CARMO et al., 2005).

De acordo com os dados históricos do INMET, os maiores picos de temperatura diária, que chegaram a 35,8°C, são no mês de outubro. Porém, conforme mostra a figura 3 abaixo, a média mensal da temperatura máxima diária para a APA do Rio Descoberto é maior nos meses de agosto e setembro, chegando a 28,5°C e 27,9°C, respectivamente.

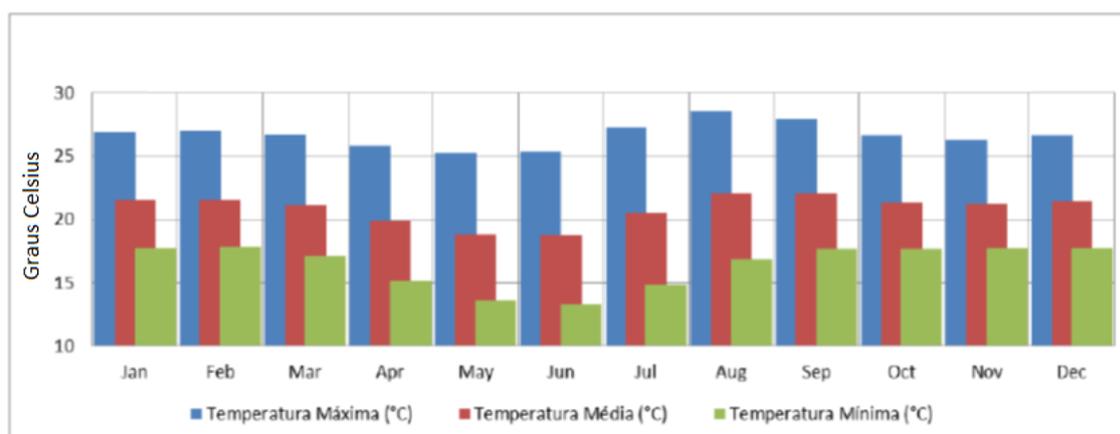


Figura 3: Temperaturas da região de estudo extraída do Plano de Manejo da APA do Rio Descoberto, adaptado ICMBIO(2014).

A classificação de Koppen baseia-se principalmente nas variações de temperaturas. Segundo a CODEPLAN (1984), no DF são encontrados os seguintes tipos de clima: tropical de altitude (Cwa e Cwb), típico das chapadas mais elevadas, entre 100 - 1200 m ou acima de 1200 m, caracterizado pela temperatura inferior a 18 ° C, no mês mais frio, e média inferior a 22° C, no mês mais quente; tropical (Aw) situa-se nas principais bacias hidrográficas da região, abaixo da cota de 1000m, caracteriza-se pela temperatura média superior a 18° C, em todos os meses do ano.

1.6.2 Solo

Os latossolos representam 54, 47 % da área do DF, divididos em LV (38,63%) e LVA (15,84%). A classe LV ocorre principalmente nos topos das chapadas, divisores com topos planos, depressões como a do Paranoá e na Bacia do Rio Preto. A classe LVA ocorre principalmente nas bordas de chapadas e divisores, em superfícies planas, abaixo dos topos das chapadas como a da Contagem, sempre adjacente à classe de Latossolo Vermelho. A classe LVA ocorre especialmente no divisor Descoberto-Preto (MARTINS et al., 2004).

A segunda classe de solo com maior ocorrência é a de Cambissolo (31,02 %). Ocorre principalmente nas vertentes das bacias mais importantes do DF, a do Maranhão, do Descoberto e do São Bartolomeu. Ocorre também em regiões de encostas com declividades mais elevadas na depressão, como por exemplo, do Paranoá e na Bacia do Rio Preto, como pode ser visto na figura 4 (MARTINS et al., 2004).

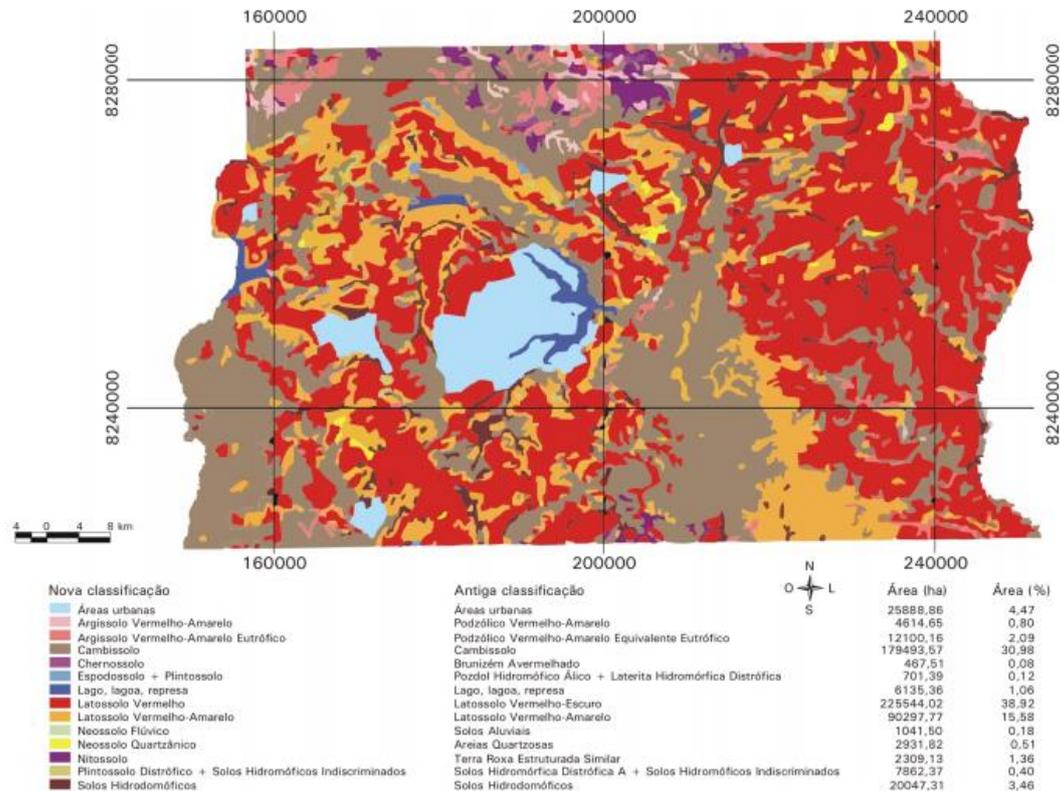


Figura 4: Classificação dos solos que ocorrem no Distrito Federal, desenvolvida por MARTINS et al. (2004).

De acordo com REATTO et al.(2003) na APA da Bacia do Rio Descoberto, a área apresenta as seguintes classes de solos:

Latossolos: são solos altamente intemperizados, resultantes da remoção de sílica e das bases trocáveis do perfil. Grande parte dos minerais existe, nesses solos, é os secundários, constituintes da formação de argila. Resultantes de um alto grau de intemperismo e lixiviação, formado uma estrutura porosa, com alto índice de vazios. A susceptibilidade a erosão é reduzida, de nula a ligeira.

Cambissolos: são os solos que apresentam o horizonte superficial submetido a pouca alteração física e química, porem suficiente para o desenvolvimento de cor e da estrutura. Geralmente, apresentam minerais primários, facilmente intemperizáveis, teores mais elevados de silte, indicando o baixo grau de intemperização. Seu horizonte superficial é denominado B incipiente. Muito susceptíveis à erosão, do tipo laminar moderada ou severa, bem como em sulcos e voçorocas.

Neossolos: são solos pouco evoluídos, não hidromórficos, formados em depósitos aluviais recentes, por processos de sedimentações. Apresentação horizonte A seguindo

de uma sucessão de camadas estratificadas sem relação pedogenética entre si. Não apresentam horizonte diagnóstico. Considerando as suas características de moderada a alta erodibilidade, ampla variação de fertilidade, pequena profundidade efetiva, eles requerem um manejo e maior atenção sob aspectos conservacionistas.

Solos Hidromórficos: são solos desenvolvidos sob grande influência do lençol freático próximo a superfície. A coloração do solo tem uma tonalidade cinza, por conta da redução de ferro. Estes solos tem um problema principal para o uso, a sua capacidade de suporte e drenagem.

1.6.3 Geomorfologia

O Distrito Federal está localizado no Planalto Central do Brasil, região característica por extensos níveis planos a suave ondulados, frequentemente denominados de região de chapadas, seguido por escarpas, regiões com níveis com declividade elevada, que se estendem da base das chapadas até a região de morros residuais em direção aos vales (pediplanos). Também fazem parte desta paisagem áreas entalhadas e dissecadas pelos rios, como por exemplo regiões do Paranoá, São Bartolomeu, Preto, Maranhão e Descoberto (CAMPOS, 2016).

As unidades geomorfológicas do Distrito Federal se agrupam, basicamente, em três tipos de paisagens (macro unidades): Região de Chapada; Área de Dissecação Intermediária; Região Dissecada de Vale. Além das macros unidades, ocorrem em áreas mais restritas um relevo de transição na forma de faixas entre a Região de Chapada e a Região Dissecada de Vale, denominadas de Escarpas, bem como, as regiões limítrofes entre Região de Chapada e Área de Dissecação Intermediária, denominadas de Rebordos (CAMPOS, 2016).

De acordo com os estudos de realizados para o Plano de Manejo da Apa do Rio Descoberto (2014), a APA está inserida em uma região pouco dissecada com o predomínio de platôs na parte leste que normalmente transacionam para regiões de morros com vertentes suaves, ou em menor proporção para zonas transicionais mais íngremes similares. Este último ocorre principalmente na parte norte da APA transicionando para áreas dissecadas na Bacia do Rio Descoberto. Em relação aos tipos de relevos, há o predomínio de formas retilíneas planares a divergente retilínea. Estas formas promovem a dispersão dos fluxos superficiais e a formação de extensas rampas onde podem estar associados solos transportado tipo colúvios. As formas convergentes

O Rio Descoberto nasce à altura da cota de 1.300m, sob as coordenadas de 15°37'S e 48°10'W, desenvolve-se inicialmente nos contrafortes da Chapada da Veredinha no Planalto Central e segue na direção NW, após a confluência de seus formadores: os córregos Capão da Onça e Bucanhão, como pode ser visto na figura 6. Durante seu curso é represado formando a barragem do Descoberto, nas coordenadas de 15°47'S e 48°11'W (CARMO, 2005).

O reservatório do Descoberto é um lago artificial formado a partir do represamento das águas do Rio Descoberto, seu principal contribuinte, e dos demais tributários. A barragem foi construída em 1974, esse reservatório faz parte do Sistema Integrado Rio Descoberto, o principal sistema de abastecimento de água para a população do Distrito Federal, fornecendo água para cerca de 60% do total de água produzida pela CAESB (ICMBIO, 2014).

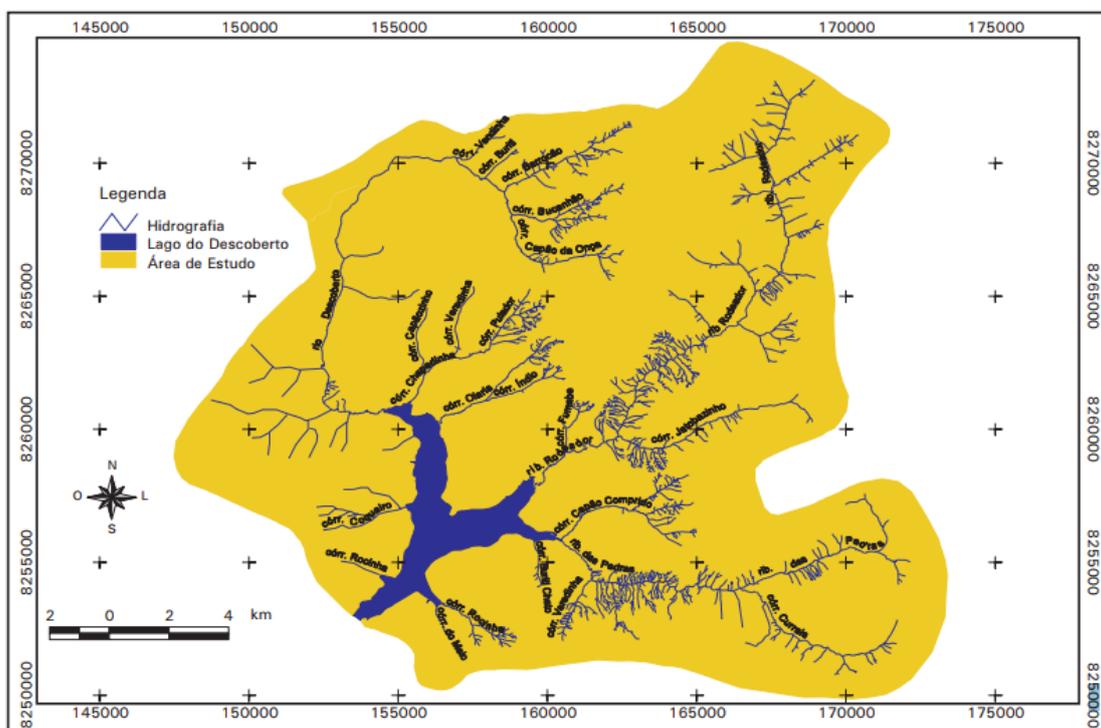


Figura 6: Hidrografia da bacia do rio Descoberto desenvolvida por Reatto et al (2003).

1.6.5 Vegetação

Como área contínua, o bioma Cerrado abrange os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo, e também ocorre em áreas disjuntas ao sul, em pequenas ilhas no Paraná (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Ribeiro e Walter (2008) descrevem, em sentido fisionômico, que o termo floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de

dossel, contínuo ou descontínuo. O termo savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem a formação de dossel contínuo. Já o termo campo designa áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, faltando árvores na paisagem.

De acordo com Assunção e Felfili (2004), o Distrito Federal (DF) situado na área nuclear do Bioma Cerrado, onde também se encontra a Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Descoberto (APA Bacia do Rio Descoberto), tem sofrido acelerada ação depredatória dos recursos naturais. Em um período de 44 anos após o início de sua ocupação, 73,8% da cobertura original do Cerrado já foram perdidos.

São descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma Cerrado, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Considerando também os subtipos neste sistema, são reconhecidos 25 tipos de vegetação (RIBEIRO; WALTER, 2008) (Figura 7).



Figura 7: Perfil da classificação fitofisionômica do Cerrado preparado por Ribeiro (2008).

Os diferentes tipos de fitofisionomias foram mapeados por Reatto et al. (2003) para o Alto Curso da Bacia do Rio Descoberto, os percentuais de fitofisionomias do Alto do Descoberto são apresentados no gráfico da figura 8 e o mapa desenvolvido deste trabalho na figura 9.

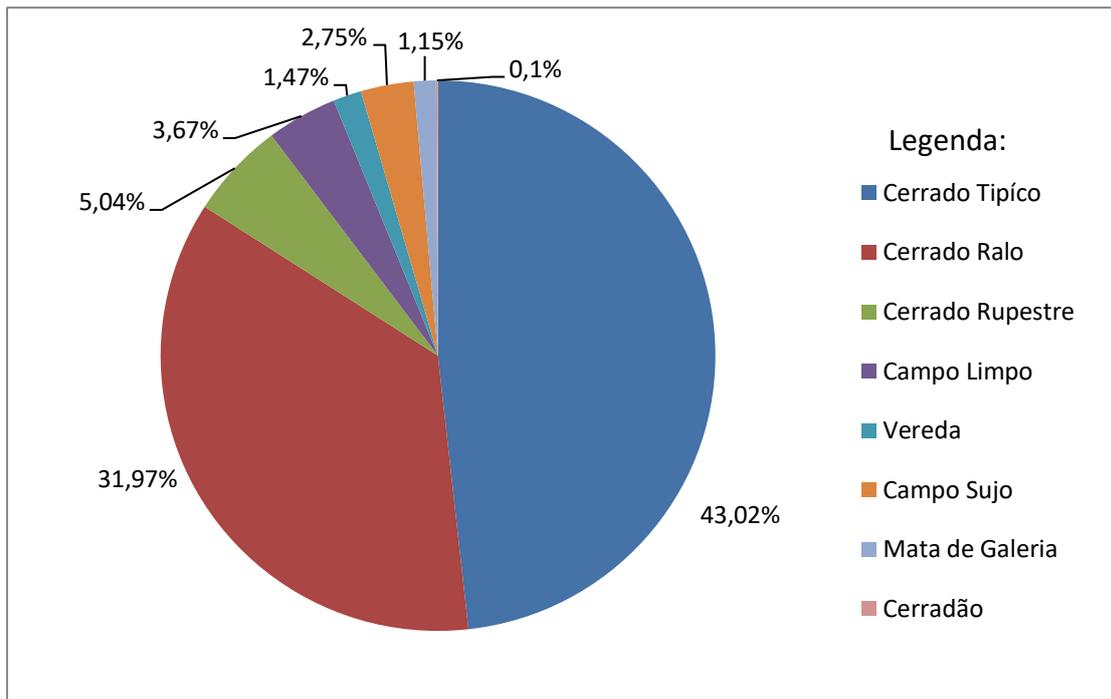


Figura 8: Distribuição proporcional das fitofisionomias classificadas por Reatto et al. (2003) na área da bacia do rio Descoberto, adaptado.

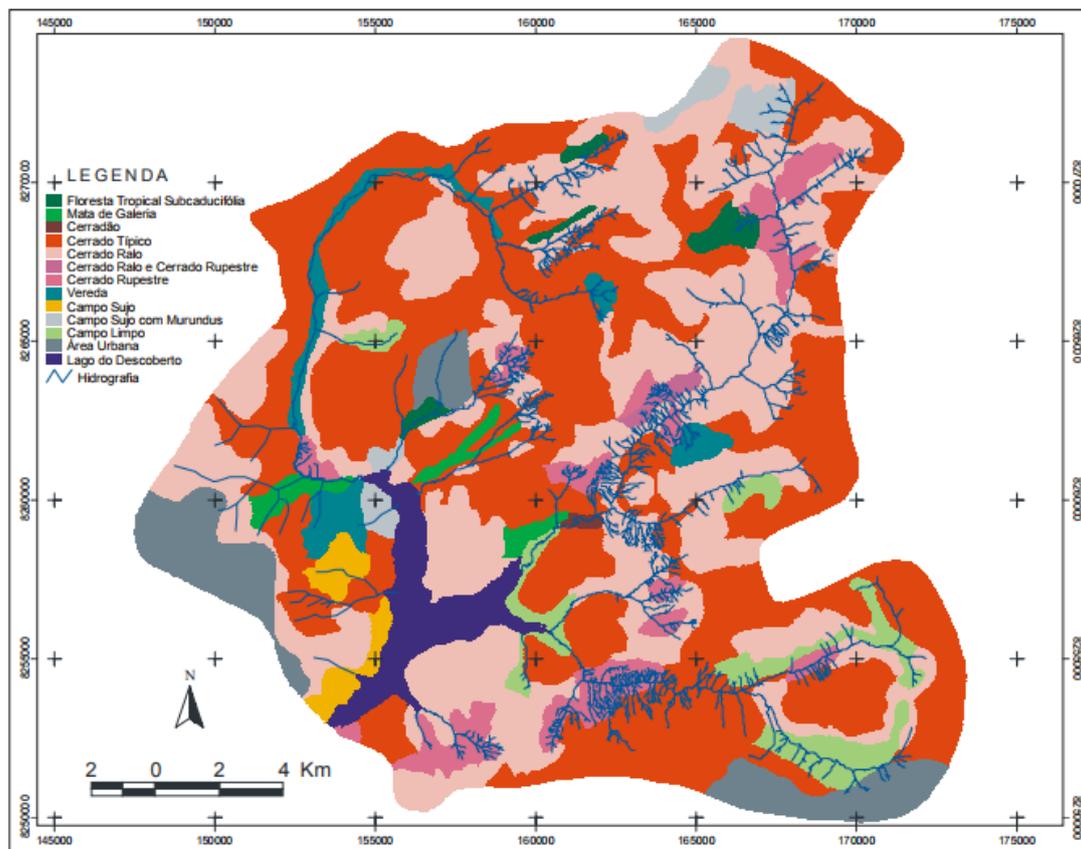


Figura 9: Distribuição espacial das fitofisionomias do Cerrado para o Alto Curso do rio Descoberto, adaptado por Reatto et al. (2003).

1.6.6 Formato desta Dissertação de Mestrado

Para alcançar os objetivos deste estudo, esta Dissertação de Mestrado foi estruturada em cinco Capítulos. O primeiro Capítulo incluiu tópicos introdutórios, com os objetivos, questões de pesquisa, caracterização da área de estudo, além de todo o referencial teórico que embasa esta pesquisa.

No segundo Capítulo foram abordadas as mudanças no uso da terra e da cobertura vegetal da área de estudo num espectro temporal de 4 anos, época pré-crise hídrica que vem sendo vivida na região do DF.

No terceiro Capítulo foram abordados os processos erosivos da área de estudo através de modelagem em SIG e mapeamento visual, propondo uma discussão sobre a conservação de solo na região da APA e quais os fatores de maior influência para o atual estado.

No quarto Capítulo foi conduzido o estudo da fragmentação da paisagem e seus impactos na área de estudo entre 1985 e 2015, discutindo as principais alterações na paisagem e discorrendo sobre a disponibilidade hídrica por meio da vazão dos corpos hídricos e o consumo de água da população beneficiada pelo abastecimento promovido pelo reservatório do Descoberto.

Por fim, no quinto e último Capítulo, foram feitas as considerações finais sobre a pesquisa e a consolidação de informações dos Capítulos anteriores desta dissertação.

2. CAPÍTULO II - DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA ENTRE 2011 E 2014

2.1 Introdução

A análise temporal do uso da cobertura do solo é uma base indispensável para o planejamento das atividades de desenvolvimento rural, o monitoramento ambiental e a conservação de ecossistemas. O estudo de dinâmica do uso da terra segue regras complexas, levantamentos precisos de alteração do uso da cobertura do solo, alterações de gerenciamento que afetam as características da cobertura do solo (KIBRET et al., 2016).

As ações humanas geram grandes impactos nas paisagens por meio do intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura nativa. Fatores sociais, políticos e econômicos estão ligados diretamente ao processo de fragmentação da paisagem, podendo influenciar a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, além de afetar a biodiversidade de modo geral (COELHO et al., 2014)

O processo de desordenamento territorial e o uso intensivo dos recursos naturais são as principais causas da preocupação com o meio ambiente. Para planejar o crescimento territorial, é necessário investir em tecnologias e estudos relacionados ao conhecimento das características ambientais que permitem conhecer a composição básica da paisagem e aspectos da fauna e flora de uma região (CARVALHO, 2012).

Na APA Bacia do Rio Descoberto, devido aos processos de desmatamento da vegetação nativa, vem sendo observado modificações na dinâmica da paisagem e no uso do solo, onde, pastagens foram parcialmente substituídas por cultivos agrícolas e florestais, além da forte urbanização com o surgimento irregular de parcelamentos de terra. O processo de maior impacto ambiental na APA é o uso desordenado do solo, gerando diferentes interesses e conflitos, especialmente em relação à água (ICMBIO, 2014).

Vários trabalhos científicos têm sido desenvolvidos para a verificação da adequação do uso e ocupação das terras utilizando técnicas de geoprocessamento. Por exemplo, os trabalhos realizados por ADAM et al., (2014), incluíram o mapeamento de regiões costeiras com imagens do satélite *Rapid-Eye*, o de Spiekermann et al., (2015), incluiu o mapeamento de uma série temporal de 44 anos da região do Sahel de Mali e o

de Cunha et al., (2012) que conduziram a análise da dinâmica da cobertura vegetal na bacia de São João do Rio do Peixe, PB, através de imagens Landsat.

No presente Capítulo desta dissertação objetivou diagnosticar o uso e a ocupação das terras Área de Proteção Ambiental do Rio Descoberto dentre os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014, utilizando imagens do sensor *RapidEye*. As imagens deste sensor possibilitam o mapeamento em alta resolução espacial, possibilitando um bom nível de detalhes nos mapeamentos.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Base de Dados

No presente estudo, as imagens do satélite *Rapid-Eye* foram adquiridos do Ministério do Meio Ambiente (MMA). O Ministério do Meio Ambiente disponibiliza um conjunto de imagens orbitais, adquiridas pelos satélites *Rapid-Eye* para apoiar a obtenção das informações geoespaciais temáticas relacionadas ao Programa de Regularização Ambiental e estudos ambientais com sem fins lucrativos.

A cobertura de imagens para todo o território nacional é composta por aproximadamente 7.500 cenas ortorretificadas com menos de 20% de cobertura de nuvens, nível de processamento 3A, tamanho de pixel de 5 metros, sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e datum WGS84 (*Rapid-Eye*, 2017; MMA, 2017).

Trata-se de um sensor multiespectral, cobrindo as faixas espectrais do visível (azul, verde e vermelho) e do infravermelho próximo, com destaque para uma banda no red-edge (Figura 10). Essas imagens permitem mapeamentos cartográficos classificados como Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, escala 1:20.000, conforme Normas Técnicas da Cartografia Nacional (KRISCHKE et al., 2000; TYC et al., 2005; SILVA; SANO, 2016).

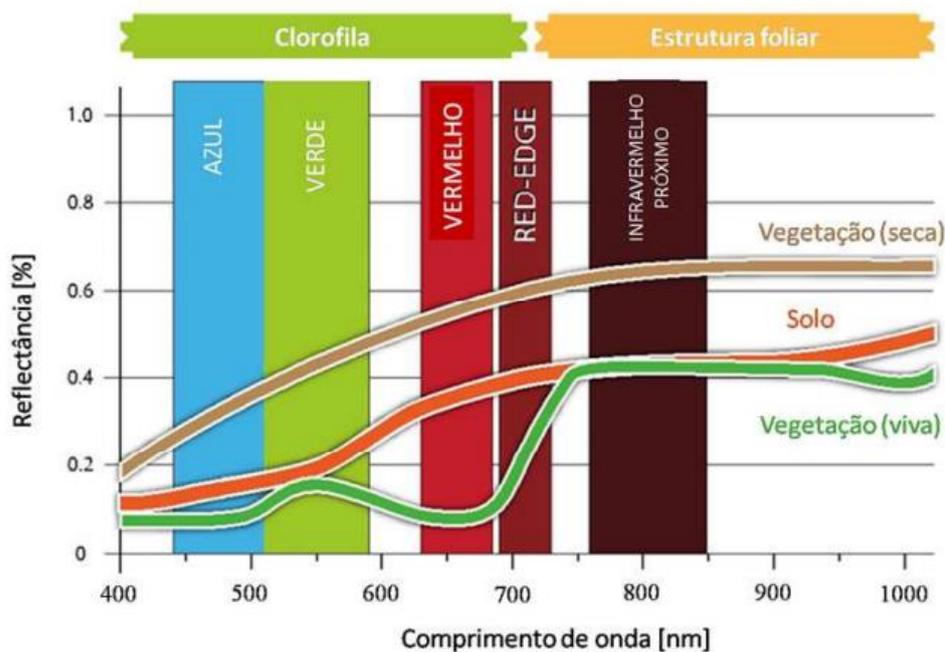


Figura 10: Bandas espectrais do sensor *Rapid-Eye*, adaptado *Rapid-Eye* (2017).

Os dados em formato *raster* utilizados no presente estudo incluíram as imagens do sensor *Rapid-Eye* selecionadas e obtidas em 2011, 2012, 2013 e 2014. A Tabela 3 inclui os códigos das cenas no GeoCatálogo (MMA), as datas de aquisição da cena para todos os anos deste estudo.

Tabela 3: Dados das imagens *Rapid-Eye* utilizadas para mapeamento da APA do Rio Descoberto.

Imagem	2011	2012	2013	2014
2231927	01/jul	30/ago	14/out	01/jul
2231928	30/mai	30/ago	11/ago	30/mai
2231826	29/abr	03/jul	22/jul	29/abr
2231827	29/abr	30/ago	22/jul	29/abr
2231828	30/mai	30/ago	11/jun	30/mai

As cenas do *Rapid-Eye* foram selecionadas levando em consideração dois fatores importantes para a aquisição da imagem: o percentual de ocorrência das nuvens e a data das imagens. A ocorrência de nuvens nas cenas disponibilizadas pelo MMA tem um percentual abaixo de 20%, tornando a aquisição de dados de boa qualidade mais efetiva. Outro critério usado para escolha das imagens foi a data de aquisição das imagens o mais próximo possível para reduzir o efeito da sazonalidade climática na região sobre as imagens, de preferência cenas do mesmo dia de aquisição. Deu-se preferência para as imagens adquiridas no período seco, entre maio a setembro. Porém,

há pouca disponibilidade de imagens no sítio da internet do MMA (Geo-Catálogo), sendo que em alguns anos foi necessário adquirir imagens obtidas em períodos chuvosos.

2.2.2 Métodos

2.2.2.1 Procedimentos de campo e definição das classes de uso e cobertura da terra

Para implementar a classificação supervisionada, é necessário o conhecimento prévio da área de estudo (Horning et al., 2010). Por isso, no presente estudo, foram realizadas visitas na região de estudo com o objetivo de identificar os principais padrões espaciais de cobertura do uso do solo. Também foram coletadas amostras dos padrões da paisagem para correlacionar com os padrões espaciais nas imagens do *Rapid-Eye*. As observações em campo foram realizadas antes da classificação, nos meses do período chuvoso e seco de 2017. A coleta de amostras dos tipos de uso identificadas foi fotografada e as características observadas foram registradas.

A partir das observações em campo e nas imagens, foram definidas 12 classes de cobertura/uso da terra na imagem: (1) agricultura, (2) água, (3) cerrado, (4) mata de galeria, (5) pastagem, (6) queimada, (7) solo exposto, (8) nuvem, (9) sombra, (10) Área urbana, (11) Reflorestamento (Floresta Plantada) e (12) para referência e obtenção das áreas de treinamento na classificação supervisionada, como pode ser visto na Quadro 1 abaixo. Nuvem e Sombra são feições desconsideradas para o uso da terra, pois são interferências na imagem por fatores climáticos.

Quadro 1: Classes de uso para a classificação supervisionada (imagens *Rapid-Eye*).

<p>Agricultura (áreas com finalidade para a produção de culturas vegetais apresentando uma alta coloração mais esverdeada nas imagens em composições RGB)</p>		
<p>Corpos d'água (rios, lagos, represas e entre outros tipos de corpos hídricos)</p>		
<p>Cerrado (áreas com característica de savana, regiões com vegetação rasteira e árvores espaçadas)</p>		

<p>Mata de Galeria (áreas com vegetação densa acompanhando as drenagens com presença de água)</p>		
<p>Pastagem (áreas destinadas a pecuária com cobertura vegetal rasteira para a movimentação e alimentação do gado)</p>		

<p>Queimada (áreas com a presença de fogo ou áreas que sofreram com a passagem dele)</p>	<p>Sem foto</p>		
<p>Solo exposto (áreas com a exposição do solo e sem presença de cobertura vegetal ou áreas em processo de urbanização)</p>			
<p>Área Urbana (áreas com a presença de cidades, bairros, estradas ou característica urbana)</p>			

<p>Reflorestamento (áreas com a presença de plantios de árvores, geralmente, monoculturas com finalidade de comercialização ou reflorestar.</p>		
<p>Pivô Central (áreas de agricultura com uma técnica de plantios circulares)</p>	<p>Sem foto</p>	

As classes de uso e cobertura da terra definidas acima foram estabelecidas de acordo com os padrões (cores, textura, homogeneidade/heterogeneidade, forma e localização) das feições de interesse (classes). A composição de bandas das imagens *RapidEye* utilizada na obtenção das áreas de treinamento foi a RGB 3/2/1.

As observações de campo, aliada à experiência com classificação de imagens, possibilitaram a construção de uma chave de classificação com o objetivo de enriquecer e comprovar o conhecimento prévio sob a região.

2.2.2.2 Classificação das imagens para Mapeamento do Uso do Solo

A etapa de classificação de imagem teve o objetivo de identificar as classes de interesse através da resposta espectral das imagens de sensoriamento remoto. Segundo Basukala et al., (2017), a classificação de imagens por sensoriamento remoto apresenta um excelente custo-benefício e tem sido método principal para mapeamento do uso do solo utilizados para tomadas de decisão em planejamentos territoriais.

A informação numérica contida nos pixels destas amostras, inclusive em diferentes bandas espectrais, é utilizada para “treinar” o software capaz de captar as respostas espectrais de cada diferente classe. Assim, a Classificação Supervisionada foi utilizada para a detecção dos diferentes usos e cobertura da terra da área de estudo.

A classificação do tipo supervisionada é uma técnica semiautomática de classificação de imagens em SIG, onde são colhidas amostras de treinamento pelo pesquisador, de acordo com sua experiência e conhecimento técnico-científico. As amostras de estudo são regiões com características semelhantes (homogêneas) que representam as classes de interesse para o resultado final do classificador. A classificação supervisionada é um método muito utilizado em estudos de avaliação de mudanças de uso e mapeamento da ocupação do solo (HORNING, 2010).

Foram testados três tipos de classificadores disponíveis no *software* ERDAS IMAGINE 2011 e comparados através do conhecimento local de campo com auxílio das imagens de alta resolução espacial da base de dados do *ArcGis* 10.2.2.

- MaxVer (Máxima Verossimilhança)
- Classificador Mahalanobis
- Distância Mínima

O classificador MaxVer apresentou melhor resultado do que os demais métodos de classificação. O classificador produziu classificações com resultados considerados muito bom, utilizando como referência os índices de Exatidão Global e índice *Kappa*. O método utilizado tem uma grande aprovação por contribuir no processo de identificação e classificação do comportamento espectral dos alvos em classificação supervisionada, como pode ser visto nos estudos de WRUBLACK et al. (2012) e CATTANI et al. (2013).

2.2.2.3 Avaliação da Acurácia

Meneses e Almeida et al. (2012) esclarecem que a acurácia depende de alguns fatores, como terreno, resolução espacial/espectral, e do próprio algoritmo de

classificação utilizado. A acurácia, em geral, apresentada em forma de índice, nos mostra em porcentagem quantos pixels foram classificados de forma correta.

Para quantificar os erros gerados pela técnica de classificação Máxima Verossimilhança neste estudo, foi construída a matriz de erro ou de confusão. Para isso, foi utilizada a ferramenta *Create Random Points* do *ArcGis10.2.2* para aleatorizar 100 pontos de checagem sobre a área de estudo, divididos aleatoriamente a quantidade de pontos por classe (Figura 11).

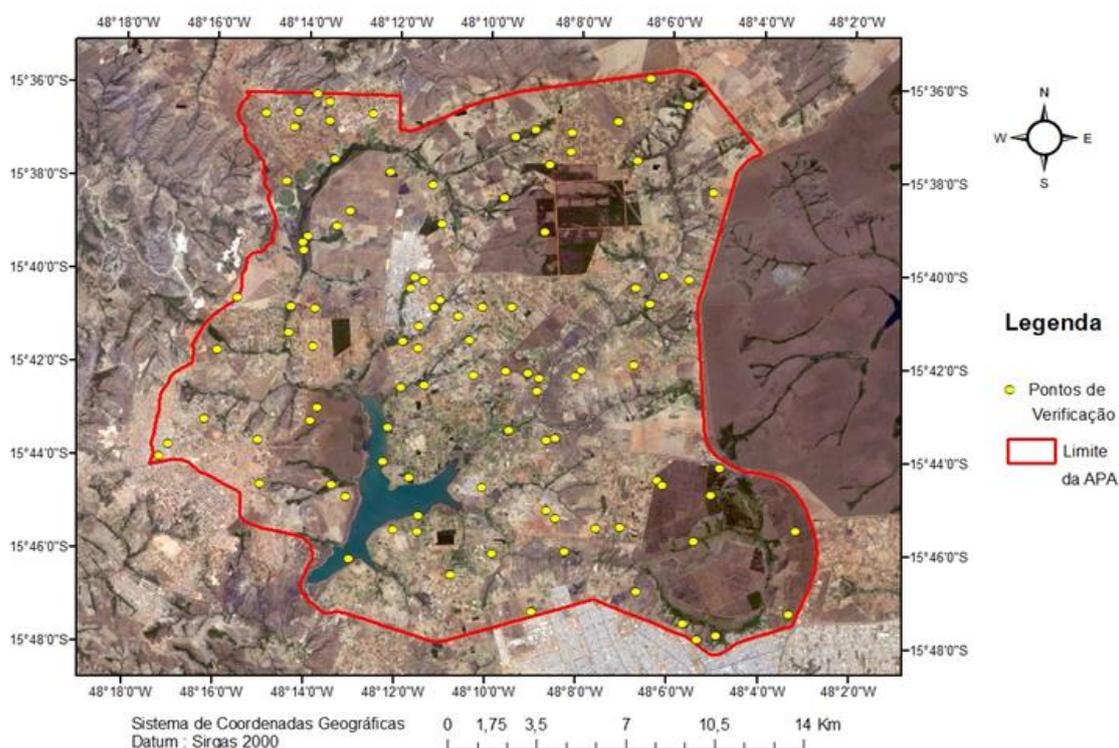


Figura 11: Pontos de amostragem aleatória para avaliação da classificação supervisionada MaxVer.

Cada ponto de controle foi conferido visualmente em campo ou por imagem de alta resolução espacial (imagem de banco de dados do *ArcGis10.2.2*). Assim, foi possível a elaboração da matriz de confusão e posterior calcular a exatidão global e o índice de Kappa.

Os erros de subestimativas incluem os erros cometidos pelo Produtor na definição das classes, tais erros são estimados com a avaliação da Acurácia do Produtor (AP). Os erros de superestimativas incluem aqueles cometidos pelo usuário na definição das classes, tais erros são estimados com a avaliação da Acurácia do Usuário (AU).

A coluna do valor previsto (como pode ser visto na tabela 4) seria o valor da classificação realizada e as linhas do valor verdadeiro é a da checagem em campo, onde a linha da horizontal mostram todos os acertos da classificação para as classes ($n_{11} +$

$n21 + \dots + nNN$). A exatidão global foi calculada a partir do somatório dos acertos (positivos e negativos) dividido pela a quantidade de amostras (pontos) testada, como pode ser visto na equação e no exemplo de matriz de confusão (tabela 4) de Simões (2007) na Equação 4.

$$EG = (tp+tn) / (P+N) \tag{4}$$

Onde:

EG = Exatidão Global

$(tp + tn)$ = verdadeiros positivos e verdadeiros negativos

$(P + N)$ = soma do total de positivos e negativos

Tabela 4: Exemplo de matriz de confusão para várias classes.

Classes Reais	Classes atribuídas pelo classificador			
	Classe 1	Classe 2	...	Classe N
Classe 1	n11	n12	...	n1N
Classe 2	n21	n21	...	n2N
...
Classe N	nN1	nN2	...	nNN

O índice *Kappa* tem a possibilidade de comparar com outros trabalhos, além de ser o mais sensível para estimativas de variações de erros. Logo, este índice é muito utilizado e bem difundido nos estudos de validação de classificadores. O uso do coeficiente “Kappa” (K) é satisfatório para avaliar a precisão de uma classificação, por levar em consideração, principalmente todos os elementos da matriz de confusão, diferente da acurácia (exatidão) global que utiliza somente a diagonal principal (CONGALTON; GREEN, 2008).

O coeficiente *Kappa* foi calculado de acordo com a Equação 5 proposta por Congalton e Green (2008).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \tag{5}$$

Onde:

\hat{K} = coeficiente *Kappa*;

r = número de linhas da matriz quadrada;

x_{ii} = número de observações na linha i e da coluna i (diagonal principal);

x_i e x_{+i} = somatório na linha e na coluna, respectivamente; e
 N = número total de observações.

2.3 Resultados

2.3.1 Acurácia da Classificação do Uso e Cobertura da Terra

O desempenho da classificação supervisionada do uso e cobertura da terra para os anos estudados, usando a imagem *RapidEye* do ano de 2014, foi utilizada como referência para a avaliação da acurácia do mapeamento temporal de todo o período estudado.

Foram estimadas a “acurácia do usuário” (erros de comissão) e a “acurácia do produtor” (erros de omissão). Estas acurácias conferem maior significado aos dados, revelando o desempenho das classes de forma individual. Os resultados desta análise indicam que a subestimação variou entre 11% e 42,9% para a classe de Reflorestamento, Agricultura, Cerrado, Mata de Galeria, Pastagem e Solo Exposto. A superestimação ocorreu para a Agricultura, Cerrado, Mata de Galeria, Pastagem e Solo Exposto, variando entre o erro de 7,6% a 44%.

As classes de Agricultura, Pastagem e Solo Exposto tiveram erros maiores por conta também da contribuição da sazonalidade das verificações em campo para a classificação, por exemplo a verificação pós-colheita da produção agrícola, deixando o solo em algumas ocasiões descoberto ou em preparo para o próximo plantio. As classes que apresentaram as principais confusões foram Agricultura, Cerrado e Pastagem com Solo Exposto, como pode ser visto na matriz de confusão abaixo (Tabela 5).

Apesar de alguns valores da matriz de confusão, em geral, a classificação teve o valor de Exatidão Global de 79%, posteriormente, o índice *Kappa* foi calculado e o resultado foi de 0,75.

Tabela 5: Matriz de confusão para validação da classificação supervisionada da APA do Rio Descoberto no ano de 2014.

Classes	Checagem de Campo								Total	AU	EC	
	AG	CA	CE	MG	PA	SE	AU	RF				
Classificação imagem RapidEye 2014	Agricultura (AG)	14	0	3	1	2	5	0	0	25	56,0	44,0
	Corpos d'água (CA)	0	5	0	0	0	0	0	0	5	100	0,0
	Cerrado (CE)	0	0	19	1	1	3	0	0	24	79,1	20,8
	Mata de Galeria (MG)	0	0	0	8	0	0	0	1	9	88,8	11,1
	Pastagem (PA)	1	0	1	0	6		0	0	9	66,6	33,3
	Solo Exposto (SE)	1	0	0	0	0	12	0	0	13	92,3	7,6
	Área urbana (AU)	0	0	0	0	0	0	7	0	7	100,0	0,0
	Reflorestamento (RF)	0	0	0	0	0	0	0	8	8	100,0	0,0
Total	16	5	23	10	9	21	7	9	100			
Acurácia (AP)	87,5	100	82,6	80,0	66,7	57,1	100	89,0				
Erro Omissão (EO)	12,5	0,0	17,4	20,0	33,3	42,9	0,0	11,0				

AP (Acurácia do Produtor); AU (Acurácia do Usuário), EO (Erro de Omissão), EC (Erro de Comissão)

Baseado na avaliação de desempenho proposta por Fonseca (2000), índices variando entre 0,21 e 0,4 são considerados razoáveis e entre 0,41 e 0,6, bons; e entre 0,61 e 0,8, muito bons; e entre 0,81 e 1, excelentes. No presente estudo, os resultados do índice *Kappa* indicam muito bom desempenho do classificador, consideração a classificação dos índices, com índice *Kappa* geral variando entre 0,61 e 0,80.

2.3.2 Avaliação da Dinâmica e de Uso e Cobertura da Terra

A avaliação da dinâmica do uso da terra pode ser considerada um instrumento de indicação de estabilidade ambiental em estudos de bacias hidrográficas no Brasil, como sugere o estudo de Chaves et al (2010). A avaliação recomenda ainda a adoção de medidas oportunas e apropriadas para a gestão sustentável dos recursos ambientais (ALPHAN, 2017).

Os resultados do mapeamento das mudanças do uso e cobertura da terra conduzidas no presente estudo entre 2011 e 2014 indicam uma região com poucas alterações de uso da terra. Porém demonstra que é uma região de alta taxa de alteração da paisagem, áreas antropizadas consolidadas e regiões propensas (solo exposto) à urbanização pela influência do Distrito Federal, como pode ser visto nas figuras 13,

14,15 e 16. A tabela 6 apresenta os resultados do mapeamento de uso e cobertura da terra no período de análise para a APA.

Tabela 6: Resultado da classificação supervisionada para a APA do Rio Descoberto, entre 2011 e 2014.

	2011		2012		2013		2014	
	Área (ha)	%						
Agricultura	7925,63	19,30	10954,50	26,68	10470,01	25,50	9041,66	22,02
Corpos d'água	1187,37	2,89	1195,28	2,91	1112,55	2,71	1243,86	3,03
Cerrado	13285,26	32,35	10394,73	25,31	7835,99	19,08	13506,87	32,89
Mata de Galeria	3253,99	7,92	3989,07	9,71	2837,39	6,91	2516,41	6,13
Pastagem	5171,58	12,59	3087,30	7,52	4851,15	11,81	3384,38	8,24
Queimada	0,00	0,00	551,82	1,34	472,98	1,15	0,00	0,00
Solo exposto	3985,49	9,71	4722,26	11,50	4337,09	10,56	4622,77	11,26
Área Urbana	1934,67	4,71	1908,30	4,65	1896,28	4,62	1866,94	4,55
Reflorestamento	4220,00	10,28	4161,94	10,14	4136,95	10,07	4072,94	9,92
Pivô Central	100,190	0,24	99,02	0,24	98,29	0,24	96,77	0,24
Não classificada	0,00	0,00	0,00	0,00	3015,55	7,34	711,63	1,73
	41.064,23	100	41064,23	100	41064,23	100	41064,23	100

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que as áreas urbanas não foram substancialmente alteradas no período de análise, ocupando em torno de 4% da área de estudo. As áreas urbanas foram classificadas manualmente devido à semelhança na resposta espectral entre áreas urbanas e solos expostos não distinguida pelo classificador automática supervisionado. Segundo Nunes e Roig (2015), os segmentos dessas classes apresentam respostas espectrais semelhantes e similares, dificultam a diferenciação de classes por classificadores. As áreas urbanas são espacialmente distribuídas em regiões limítrofes da APA, representando as zonas centrais das cidades de Águas Lindas, Padre Bernardo e o Município de Alexandre Gusmão.

As áreas ocupadas por corpos hídricos se mantiveram em torno de 1200 ha (aproximadamente 3% da área de estudo) entre 2011 e 2014. O lago do Descoberto é o principal corpo de água na área de estudo.

As áreas de agricultura aumentaram 1.116,03 ha (2,7%) e as de pastagens diminuíram 1.787,2 (4,35%) entre 2011 e 2014 na área de estudo. As atividades agropecuárias da APA são consolidadas, classificadas com pequena e média produção, alguns exemplos são lavouras temporárias, lavouras permanentes, horticultura e

floricultura, produção de sementes, mudas, pecuária e criação de outros animais, e florestas plantadas (CHAVES, 2010; ICMBIO, 2014).

As áreas ocupadas por reflorestamentos se mantiveram próximo a 4 mil hectares (10 % da área de estudo) no período analisado. Similarmente à classificação das áreas urbanas, os reflorestamentos foram mapeados visualmente devido à semelhança espectral entre o reflorestamento e as matas ciliares ou de galeria observadas na área de estudo. A classificação visual foi adotada também para o mapeamento de sistema de irrigação (pivô central), devido à semelhança na resposta espectral dessas áreas com outros tipos de uso agrícola. Os pivôs centrais foram facilmente detectados visualmente com base na sua forma circular característica, ocupando 0,24% da área de estudo.

As áreas ocupadas pelos diversos tipos de vegetação do cerrado variaram em alguns anos estudados, ocupando, por exemplo, 25,3 % 32,9 % da área de estudo em 2012 e 2014, respectivamente. Tal variação ocorreu devido aos efeitos da sazonalidade nas respostas espectrais da vegetação do cerrado observadas nas imagens de satélite. Devido a indisponibilidade, as imagens foram adquiridas em diferentes estações climáticas. Em períodos secos, algumas fitofisionomias de vegetação do cerrado têm perda expressiva da cobertura foliar, expondo mais o solo, dificultando o classificador distinguir classes de vegetação do cerrado e solo exposto. De um modo geral, entretanto, os percentuais ocupados por vegetação do cerrado foram próximos, variando de 32,4% e 32,9% em 2011 e 2014, respectivamente. Tal resultado indica que houve pouca alteração nas áreas de vegetação nativa da região da APA do Descoberto no período estudado. As áreas de mata de galeria, entretanto, foram reduzidas em 734 ha, correspondente à 1% da área de estudo).

As áreas de solos expostos aumentaram 2% na área e período de estudo. Os efeitos da sazonalidade nas imagens de satélite utilizadas podem ter contribuído parcialmente com a variação nas áreas de solos expostos detectados. Além disso, foi observado a ocorrência de conversão do uso da terra na área de estudo, onde a vegetação natural é convertida para outros uso da terra em propriedades rurais (chácaras) para loteamentos, muitas vezes irregulares, com características urbanas (ARIZA, 2011). As características espectrais dos loteamentos urbanos se assemelham às de solo exposto nas imagens de satélite.

Em 2012 e 2013, as imagens adquiridas apresentavam fragmentos de áreas afetadas por fogo (queimadas e incêndios florestais). O uso do fogo ocorre em regiões

rurais como prática de limpeza e manejo do solo e, em muitos casos, o fogo se propaga ocasionando incêndios florestais. Em 2013 e 2014, as imagens de satélite utilizadas estavam parcialmente afetadas por cobertura de nuvens e sombras. Por isso, foi necessário acrescentar no presente estudo uma classe Não Classificada (Figura 12).

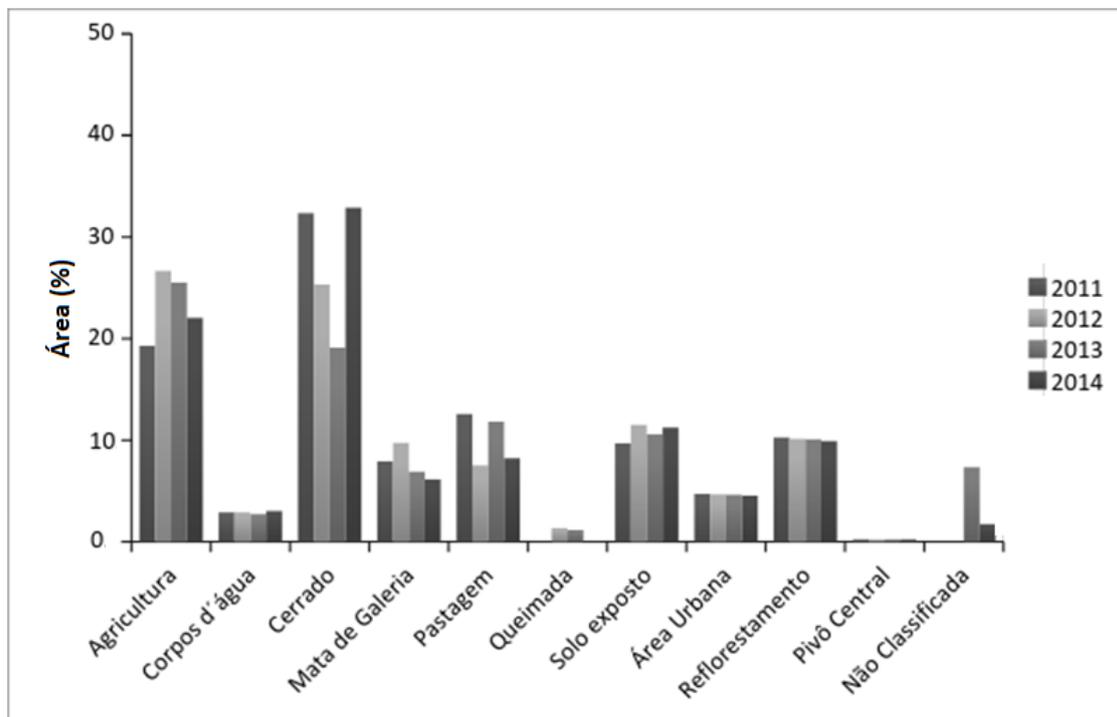


Figura 12: Porcentagens de área de cada classe da classificação realizada nos anos estudados.

Os resultados da classificação digital de imagens de satélites podem variar de acordo com a data de aquisição dos dados, resolução espacial, espectral e radiométrica do sensor (MENESES; ALMEIDA, 2012). Para a região de estudo, na APA do rio Descoberto, está inserida numa região urbano-rural, frequentemente são observadas atividades que geram conflitos de interesse entre a agricultura e a expansão urbana e entre a agricultura e áreas de vegetação nativa por conta da constante expansão de atividades antrópicas no entorno do Distrito Federal.

Aproximadamente 80 % da área da Bacia do alto rio Descoberto, na porção inserida no Distrito Federal, são aptas para lavouras anuais, havendo variações na aptidão de acordo com o nível tecnológico empregado no estabelecimento, evidenciando o potencial da região para fins agrícolas. Os resultados do presente estudo indicam que a manutenção do processo de antropização da APA do rio Descoberto, com a diminuição das áreas de vegetação natural, que reduzem a sustentabilidade da bacia.

Os resultados da classificação do uso e cobertura da terra em 2011, 2012, 2013 e 2014, são apresentados nas Figuras 13, 14, 15 e 16, respectivamente.

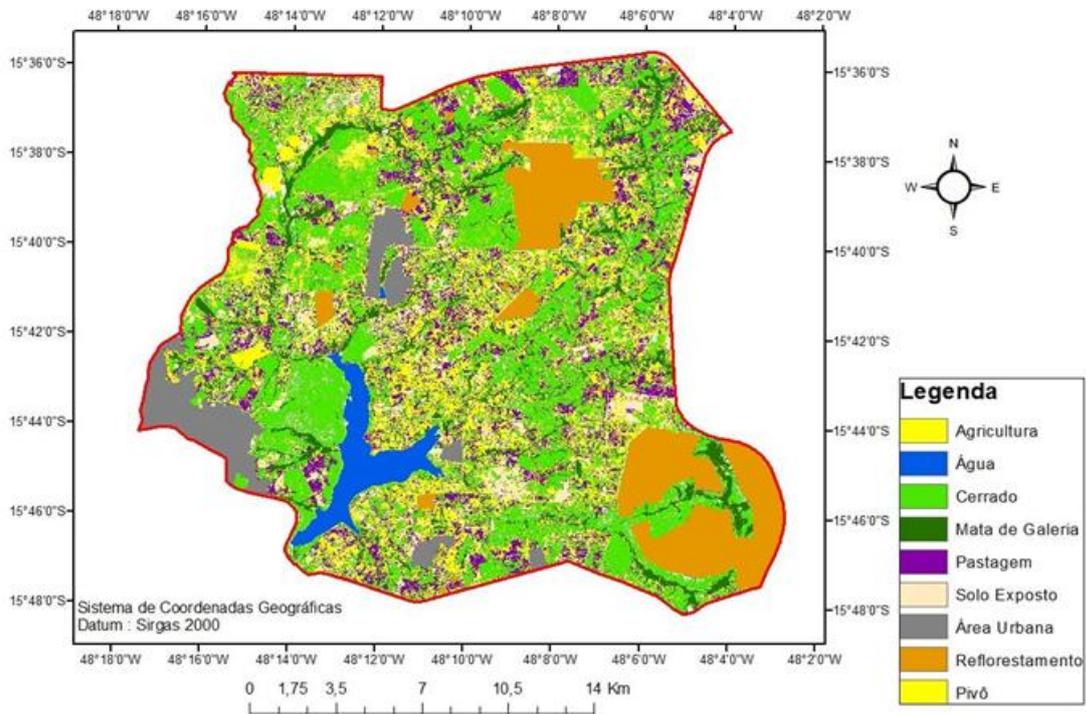


Figura 13: Uso e cobertura da terra na bacia do rio Descoberto em 2011.

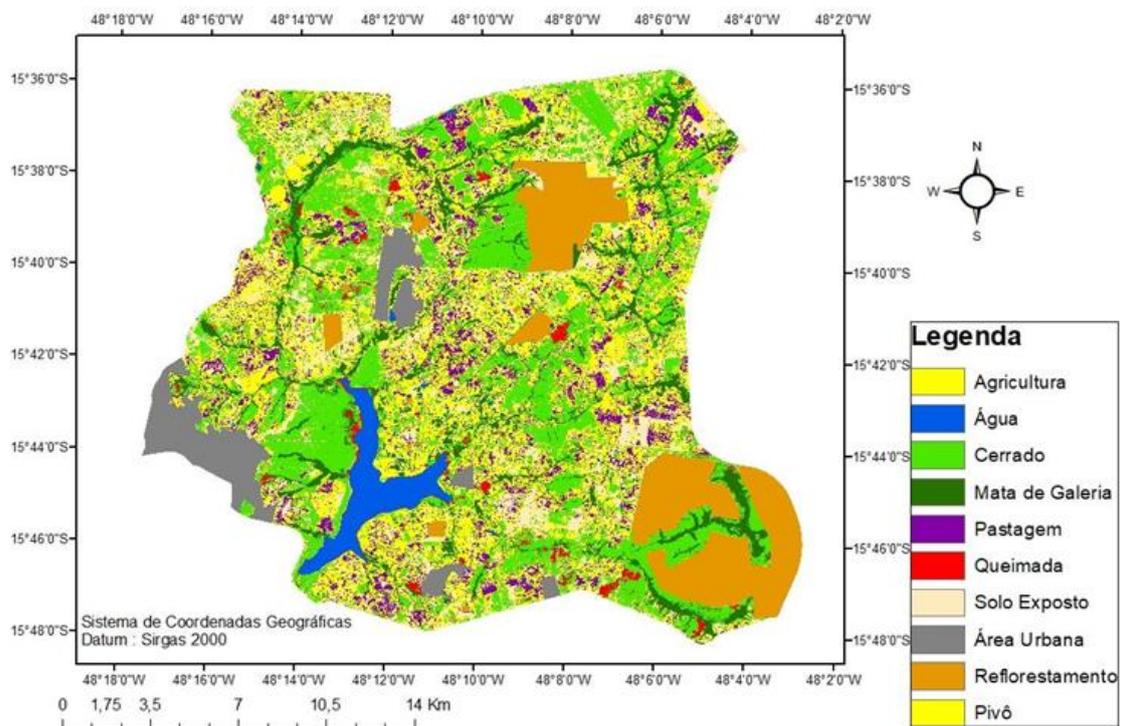


Figura 14: Uso e cobertura da terra em 2012 na bacia do rio Descoberto.

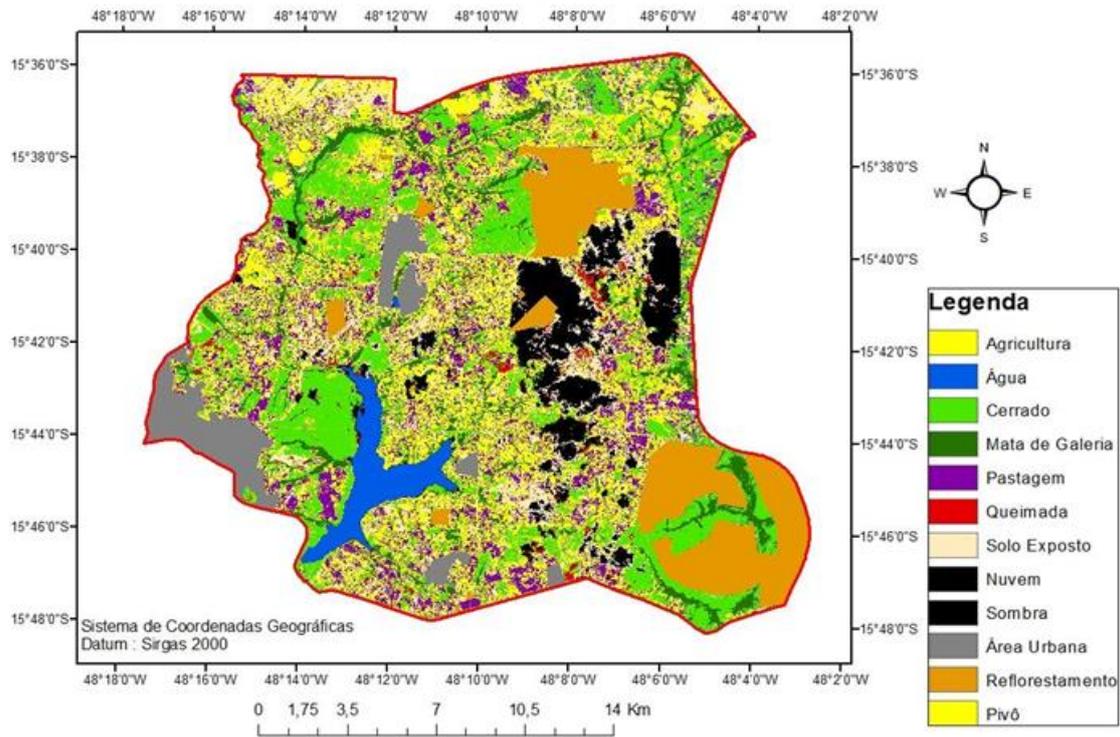


Figura 15: Uso e cobertura da terra em 2013 na bacia do rio Descoberto.

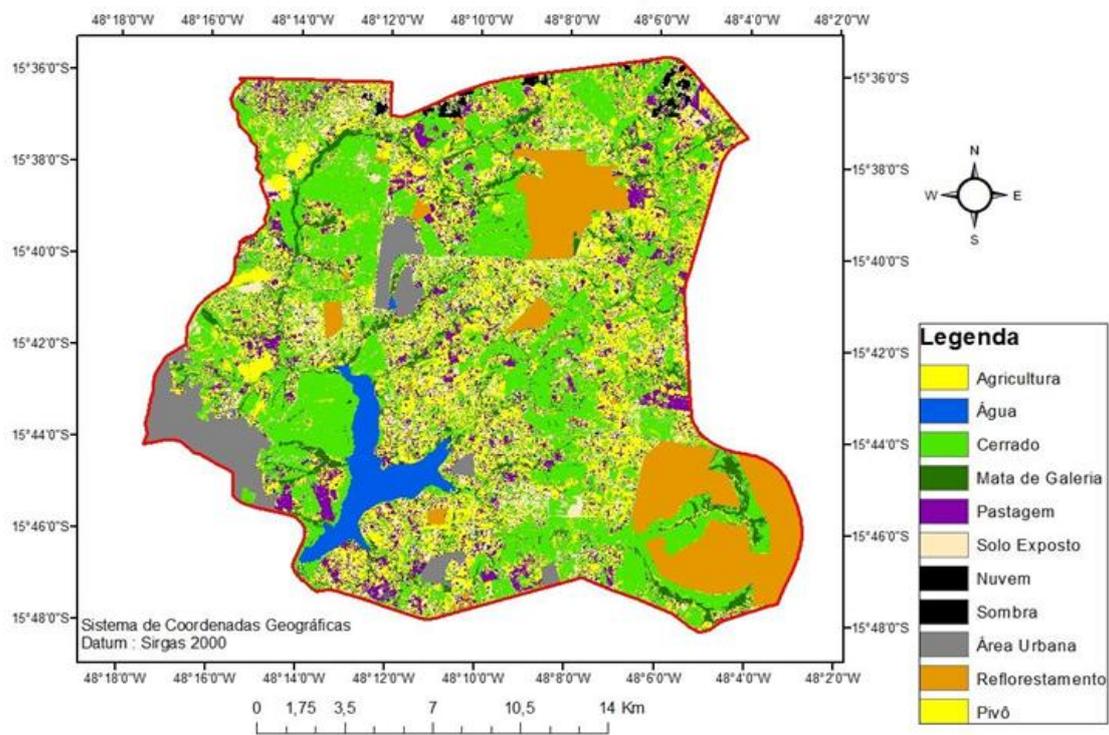


Figura 16: Uso e cobertura da terra em 2014 na bacia do rio Descoberto.

Com base nos resultados da classificação do uso e cobertura da terra na área de estudo entre 2011 e 2014, observou-se que a região da APA do rio Descoberto

apresentou pequenas alterações nas áreas de vegetação nativa, que se manteve ocupando em torno de 40% de sua área total (Tabela 7).

Tabela 7: Porcentagem da área natural e antropizada para a classificação de uso do solo da APA do Rio Descoberto para os anos de 2011 e 2014.

	2011	2014
Classes	Área (%)	Área (%)
Antropizada	56,83	56,22
Natural	40,28	39,02
Corpos d'água	2,89	3,03

Destaca-se, entretanto, a redução de áreas de mata de galeria, que embora tenha sido um pequeno percentual (1%), é extremamente relevante para a proteção dos mananciais hídricos da área de estudo.

2.4 Conclusão

Os diferentes usos e coberturas da terra na área de estudo não apresentaram variações substanciais no período e área de estudo. A APA do rio Descoberto permaneceu com aproximadamente 40% de cobertura de vegetação nativa no período estudado, que indica a manutenção e conservação das áreas com vegetação nativa. Entretanto, foram observadas algumas regiões rurais com expansão de parcelamentos de terra e o desmatamento de matas de galeria, que embora sejam localizadas, podem causar severos impactos ambientais na área de estudo.

A ocorrência de incêndios florestais parece ser sazonal e variável na área de estudo. Os incêndios foram observados em dois anos de estudo. A região apresenta condições climáticas favoráveis aos incêndios florestais que, aliada às mudanças climáticas previstas, deverá aumentar nos próximos anos, trazendo grandes prejuízos a conservação de habitats naturais, ameaças áreas agrícolas e urbanas.

A região da APA do rio Descoberto é uma região consolidada com três centros urbanos e grande parte da sua área rural tem a produção de culturas de abastecimento local e região, além das pequenas propriedades com pastagem. A região tem uma forte ligação com a produção de pequeno a médio produtor, como a região de Brazlândia e Santo Antônio do Descoberto.

Por fim, destaca-se que estudos de períodos mais longos do que o do presente estudo são necessários para entender melhor a dinâmica do uso e ocupação das terras na área de estudo. O entendimento das tendências de uso da terra de uma região de interesse, como é o caso da APA do Rio Descoberto, é imprescindível para subsidiar a definição de políticas e estratégias para a conservação dos serviços ecossistêmicos (corredor ecológico, biodiversidade, etc.) e socioeconômicos.

3 CAPÍTULO III - ESTIMATIVA DA EROÇÃO LAMINAR ATRAVÉS DA EUPS E MAPEAMENTO DE VOÇOROCAS E RAVINAS

3.1. Introdução

O solo é um recurso natural complexo no qual realiza um conjunto de processos de transformação e transferência de substâncias e energia. Em geral, os solos reduzem a sua capacidade de produção com o passar do tempo e o uso para culturas e produções, isto ocorre por conta da perda de seus elementos nutricionais e matéria orgânica em maior proporção do que o processo natural, o que eventualmente leva ao seu empobrecimento. A erosão é o processo de desagregação e transporte de material da superfície do solo influenciado por vários agentes erosivos, como por exemplo a tipo do solo e o uso (COJOCARU, 2016).

A erosão superficial do solo durante as chuvas é resultante do desprendimento do solo por impacto da gota de chuva, transporte de sedimentos por respaldo de chuva e fluxo superficial do material erodido. A identificação desses subprocessos de erosão foi uma base sólida para um modelo de processo de erosão mais detalhado proposto por Wischmeier (1971) (ZHANG; WANG, 2017).

A Equação Universal de Perdas dos Solos (EUPS) foi desenvolvida pelo *National Runoff and Soil Loss Data Center* em cooperação entre *Agricultural Research Service* e *Purdue University* (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A modelagem da erosão laminar foi resultado do trabalho de muitos anos, desenvolvido por vários pesquisadores e a sua dedução vem sendo um processo evolutivo. Dados de erosão do solo coletados, montados, resumidos e analisados estatisticamente por Wischmeier et al (1971) permitiu identificar os principais fatores do processo de erosão, a variável representativa para cada fator a ser determinado e a estrutura matemática do modelo definido (FERRO, 2010).

A EUPS representa o melhor compromisso entre a aplicabilidade e a confiabilidade das estimativas de perda de solo obtidas, tornando-se a técnica padrão de estudos de conservação do solo. A EUPS prevê uma erosão anual média em longo prazo por água com um nível aceitável de confiabilidade e também é aplicado em estudos realizados no mundo inteiro (FERRO, 2010).

A EUPS não consegue mensurar processos erosivos de alta degradação, como voçorocas e ravinas, são processos acima de 100 toneladas/hectare/ano. As voçorocas são canais erodidos formados devido à variação da resistência à erosão, em geral são

ocasionadas em pequenas mudanças de elevação ou declividade dos terrenos. Compreendida como uma escavação ou rasgão do solo ou da rocha pela a erosão do escoamento superficial (NASCIMENTO et al., 2016).

Neste contexto, o presente capítulo desta dissertação objetivou entender os processos erosivos que ocorreram na APA do rio Descoberto e que podem afetar os seus recursos hídricos. Foi considerado no presente estudo, a avaliação da erosão laminar, utilizando a EUPS e imagens de alta resolução espacial para mapeamento das ravinas e voçorocas. Os resultados desta pesquisa poderão ser usados para o planejamento ambiental, oferecendo subsídios para o manejo da APA do rio Descoberto.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Material

A área de trabalho foi delimitada na dimensão da APA da bacia para mensuração dos fatores da EUPS. Para calcular os fatores em ambiente SIG, foram necessários dados primários e secundários de pluviosidade, tipos de solo, curvas de nível (utilizado para o fator de comprimento de rampa e declividade do terreno) e a delimitação da área de estudo (utilizada anteriormente), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Dados utilizados para estimar a erosão laminar na área de estudo utilizando a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).

Dados	Descrição	Tipo de Dado	Resolução Espacial	Fonte
Limite da APA	Plano de Manejo da APA do Rio Descoberto	Vetorial	1:10.000	ICMBIO
Solo	Classificação dos tipos de solo segundo Reatto e SIEG Goiás	Vetorial	1:10.000 / 1:100.000	Embrapa e SIEG Goiás
Topografia	Interpolação das curvas de nível cedidas pela CAESB produzidas pela TERRACAP	Matricial	1:10.000	TERRACAP
Uso da terra	Classificação das imagens <i>Rapid Eye</i>	Matricial	1:25.000	MMA
Pluviosidade	Pontos pluviográficos em operação pela CAESB	Vetorial e dados não-espaciais		CAESB

3.2.2. Métodos

O diagnóstico da erosão laminar é determinado a partir da integração de fatores naturais e antrópicos que atuam na perda por erosão laminar. Para caracterizar o potencial de erosão (indicador de vulnerabilidade ambiental), foi utilizado a Equação

Universal de Perdas de Solo (EUPS), considerando seus termos que se referem aos fatores da equação, como o erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), tipo de uso do solo e práticas (CP) e o fator topográfico (LS), definida na Equação 6:

$$P = R * K * LS * C * P \quad (6)$$

No presente estudo, esses fatores R, K, LS, C e P foram estimados utilizando técnicas de geoprocessamento, em ambiente SIG.

3.2.2.1. Fator R (Erosividade da Chuva)

No processo erosivo, um fator muito atuante e considerado de grande importância é o fator R, denominado erosividade da chuva, que compõe a equação universal de perdas de solo. Este fator é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão hídrica em uma área sem proteção, independente da cobertura e tipo de solo da área (FERRO, 2010).

O fator R pode ser representado por meio de índices que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região, sendo o EI30o mais utilizado em condições brasileiras, utilizados em trabalhos como o de Cassol e Lima (2003), Mello et al.(2007).

O EI30 representa o produto da energia cinética com que a gota de chuva atinge o solo pela sua intensidade máxima. Esse produto representa um termo de interação que mede o efeito de como a erosão promovida pelo rompimento dos agregados dos solos se combina com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas. Ou seja, determina a sua capacidade em provocar erosão, cujo valor é obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva (E_c) e a intensidade máxima em 30min (I30), segundo a equação. O EI30 pode ser obtido por meio da equação 7 e 8:

$$EI30 = 67,3555 \left(\frac{r^2}{p} \right) * 0,85 \quad (7)$$

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (8)$$

Onde:

EI 30 = média mensal do índice de erosividade das chuvas, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹;

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

i = corresponde aos meses;

P = média do total anual de precipitação, em mm.

No presente estudo, foram utilizados dados pluviométricos referentes ao período de 1971 a 2014, obtidos de estações climatológicas automatizadas, distribuídas dentro e fora da abrangência do estudo, monitoradas pela CAESB descritas no mapa da figura 17.

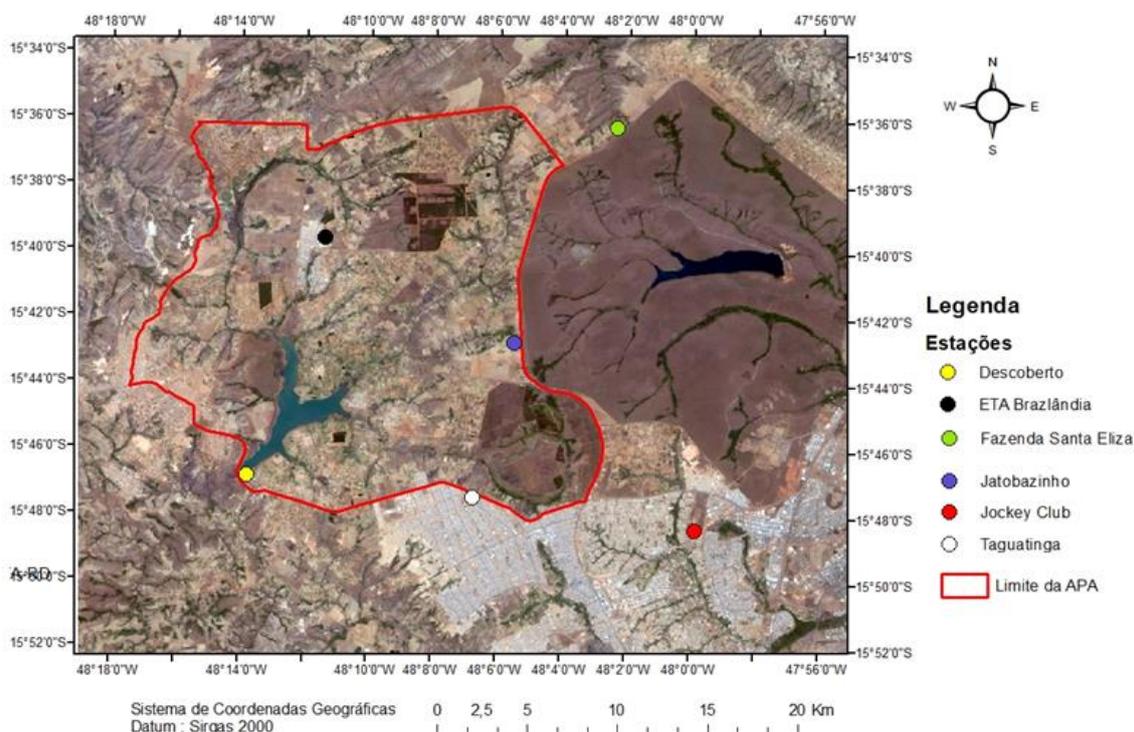


Figura 17: Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator R da EUPS para a APA do rio Descoberto.

Segundo Wischmeier & Smith (1978), para se obter um fator R confiável, estima-se que sejam necessários 20 anos de coleta de dados. Todas as estações utilizadas neste estudo têm um intervalo maior do que o proposto pelos autores (Tabela 9).

Tabela 9: Dados de localização das estações pluviométricas

Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de operação
1548006	Taguatinga ETA RD	15° 47' 23"	48° 06' 46"	1269	1970 – 2014
1548007	ETA Brazlândia	15° 41' 3"	48° 12' 27"	1098	1978 – 2014
1548008	Descoberto	15° 46' 49"	48° 13' 49"	1061	1978 – 2014
1548009	Jatobazinho	15° 42' 43"	48° 5' 33"	1205	1978 – 2009
1548013	Fazenda Santa Elisa	15° 35' 48"	48° 2' 35"	1205	1988 – 2009
1548000	Brazlândia (Quadra 18)	15° 40' 16"	48° 13' 19"	1106	1972 – 2014
1547018	Jockey Club	15° 48' 21"	47° 59' 53"	1103	1978 – 2009

Com a obtenção dos dados de erosividade através do método EI30 para cada estação foi possível espacializar essa informação utilizando o procedimento de interpolação, método geoestatístico Krigagem Ordinária (*Ordinary Kriging*), utilizando o *softwareArcGis10.2.2*. Ao final, foi gerado o mapa de erosividade da chuva para a APA da Bacia do Descoberto.

3.2.2.2. Fator K (Erodibilidade dos Solos)

Alguns solos apresentam uma maior facilidade para o processo de erosão do que outros, mesmo que todos os fatores do processo (R, LS e CP) permaneçam iguais. A diferença é explicada devido às propriedades inerentes do solo e a sua taxa de erosão é referida como a erodibilidade do solo, ou seja, a capacidade de suporte que determinado solo tem de erodir por conta de sua natureza. Expressa pelo fator K da EUPS. As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (FARINASSO et al., 2006).

Para gerar o mapa do fator K (erodibilidade dos solos), foram necessários os seguintes mapas: (a) mapa de reconhecimento de solos do Estado do Goiás e DF na escala 1:1.000.000 (SIEG); (b) mapa do alto da Bacia do Descoberto confeccionado por Reato na escala de 1:10.000 (2003), estudo da EMBRAPA. No cálculo da erodibilidade foram utilizadas as informações dos parâmetros físico-químicos das classes de solos descritos nos estudos de Wischmeier et al. (1971) e de Bloise et al. (2001), na tabela 10 estão descritos os coeficientes para cada tipo de solo que foi utilizado neste estudo. Conforme a classificação de Borges et al. (2013), os solos foram classificados em categorias.

Tabela 10: Classificação do fator K para determinados solos presentes na área de estudo proposto por Bloise et al. (2001), desenvolvido por Wischmeier et al. (1971).

Classe de Solo		Fator K
Latossolo Vermelho	<i>LVd1</i>	0,0263
	<i>LVd2</i>	0,0092
	<i>LVd3</i>	0,0144
	<i>Outros</i>	0,0151
Latossolo Vermelho – Amarelo	<i>LVAAd1</i>	0,0171
	<i>LVAAd2</i>	0,0237
	<i>LVAAd3</i>	0,0144
	<i>outros</i>	0,0184
Cambissolo	<i>CXd1</i>	0,0237
	<i>CXd2</i>	0,0158
	<i>CXa1</i>	0,0263
	<i>CXa2</i>	0,0210
	<i>Outros</i>	0,0217
Gleissolos	<i>Gmd1</i>	0,0158
	<i>Gmd2</i>	0,0273
	<i>Gmd3</i>	0,0395
	<i>GXa1</i>	0,0355
Nitossolo Háplico	<i>NXd1</i>	0,0197
Neossolo Flúvico	<i>RUBd1</i>	0,0250

3.2.2.3. Fator LS (Comprimento de Rampa e Declividade)

O Fator Topográfico (Fator LS) provoca diferentes formas dos processos erosivos. O comprimento de rampa e a declividade, que influenciam no fator LS, são fatores controladores do escoamento das águas nas encostas, incidindo a erosão laminar pelo declive. Também influenciam a ocorrência dos processos de erosão linear, que acontecem quando o comprimento de rampa e ondulações das vertentes coletoras de fluxos concentra e aumenta o escoamento (SILVA; LUCHIARI, 2014; STEIN et al., 2003).

A EUPS utiliza o fator comprimento de rampa (L), fator adimensional, adotando o comprimento de rampa medido em metros, sem a unidade métrica. O fator declividade (S) da EUPS é caracterizado como o índice angular da inclinação do terreno. Dentre as variáveis utilizadas no modelo da EUPS, a que possui maior dificuldade para ser estimada em ambiente computacional é o comprimento de rampa (MINELLA et al., 2010).

O fator topográfico foi obtido a partir dos parâmetros de comprimento de rampa e declividade da vertente, extraídos do Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado

a partir da interpolação das curvas de nível em 1:10.000 fornecidas pela CAESB são provenientes de levantamento contratado pela Terracap.

Para determinar o fator L (comprimento de rampa) e o S (declividade) foi necessária a preparação de produtos secundários para a obtenção do produto final, apresentado o fluxograma do fator L (figura 18) e do fator S (figura 18) abaixo.

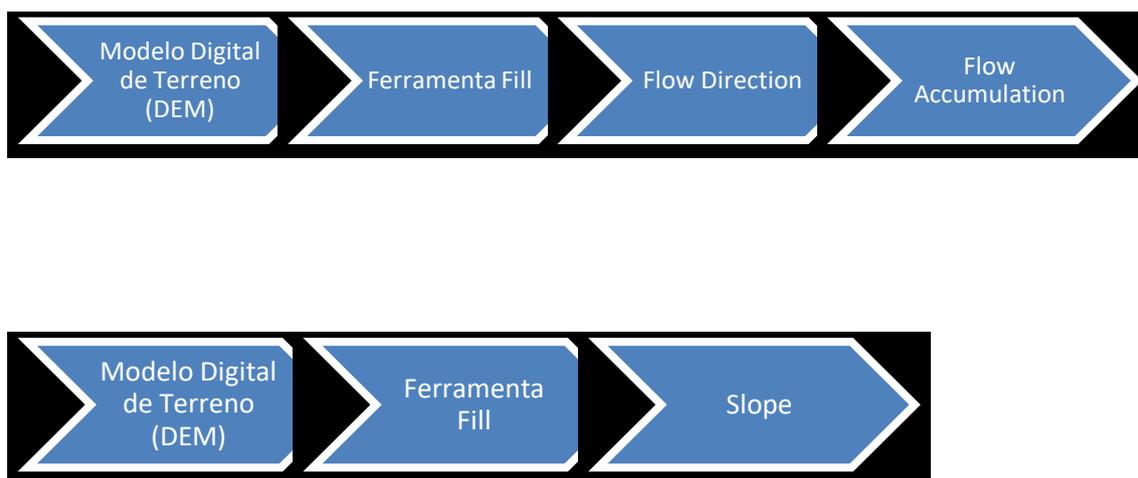


Figura 18: Etapas para a preparação dos dados de Acúmulo de Fluxo e Declividade para cálculo do Fator LS.

Posteriormente, com a obtenção do raster de *Flow Accumulation* e *Slope*, foi calculado os fatores de mapas utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, conforme a expressão descrita por MINELLA et al. (2010), obtendo o resultado final do fator LS conforme Equação 9:

$$LS = \frac{(\text{Acúmulo de fluxo} \cdot \text{tamanho da célula do pixel})^{0,4}}{22,13} \times \left(\frac{\text{seno}(\text{declividade})}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (9)$$

Em ambiente SIG, a equação acima pode ser representada da seguinte forma (Equação 10):

$$LS = \text{Power}([\text{flow accumulation}] * \text{cell size} / 22.13, 0.04) * \text{Power}(\text{Sin}([\text{Slope of DEM}] * \text{Pi}/180) / 0.0896, 1.3) \quad (10)$$

A integração entre os fatores L e S determina a influência da topografia no processo de perdas de solo por erosão laminar e linear, resultando no mapa do fator topográfico da EUPS (LS). Em termos práticos, a velocidade do escoamento superficial

na vertente será maior, quando o comprimento das rampas e o declive tiveram maiores valores, transportando uma maior quantidade de sedimentos (erosão).

3.2.2.4. Fator CP (Uso do Solo e Práticas Conservacionistas)

A quantidade de perdas do solo de uma determinada área pode ser estimada pelos produtos dos termos anteriores apresentados, levando em consideração o solo descoberto. O fator CP influencia a perda sendo maior ou menor, de acordo com o tipo de uso e práticas de conservação deste que estiverem sobre o solo.

O uso do solo na APA do Rio Descoberto foi obtido a partir da classificação de imagens do ano de 2014, classificação por meio do método de classificação supervisionada verossimilhança com correções em análise visual realizada anteriormente neste trabalho.

Para a definição dos fatores C e P, relacionados às classes de uso e ocupação de solo, utilizou-se o procedimento descrito por Stein (1987). Para integrar os fatores C e P, o fator P foi adotado constante 1 (práticas conservacionistas). A atribuição desse peso para o fator P ocorre por ser considerada a situação de maior perda de solo, ou seja, não há a presença de técnicas ou práticas conservacionistas nos diferentes usos do solo. Foi adotado este valor por ser um estudo de uma área de grande extensão e pela dificuldade em conseguir valores confiáveis de P quando se utilizam as técnicas de geoprocessamento.

Para determinar os valores de CP foi necessário, a partir do mapa de uso de 2014 para a APA do Rio Descoberto, correlacionar às classes identificadas no mapeamento com os valores determinados na metodologia adotada por STEIN et al.(1987), conforme Tabela 11:

Tabela 11: Coeficientes do fator CP para cada tipo de uso do solo de acordo com a metodologia proposta por Stein (1987).

Classe de Uso do Solo	Valores de CP
Agricultura	0,0200
Corpos d'água	0,0000
Cerrado	0,0007
Mata de Galeria	0,0001
Pastagem	0,0100
Solo Exposto	0,2500
Área Urbana	0,0000
Reflorestamento	0,0001
Pivô Central	0,1200

3.2.2.5. Mapeamento de Voçorocas

Para o mapeamento de voçorocas na região da APA do rio Descoberto, foram utilizados dados do mapeamento do Distrito Federal no estudo desenvolvido por OLIVEIRA (2012). O arquivo em formato vetorial contendo as áreas de voçorocas e ravinas mapeadas até 2010, foi recortado para a área do presente estudo.

Subsequentemente, foi feita a atualização e ajustes dos limites de feições de ravinas e voçorocas no arquivo vetorial, atualizando com imagem de alta resolução mais atual, adquirida em 2017, imagens DigitalGlobe da base de dados do ArcGis, com 60 cm de resolução espacial. As bandas utilizadas são as cores verdadeiras, RGB. Nesta etapa foi desenvolvido um método de verificação visual em linhas paralelas localizadas de 1 em 1 km para toda a área estudada, possibilitando a identificação de novos polígonos de voçorocas dentro do DF e na porção da APA no Estado de Goiás, região não estudada por Oliveira (2012).

Cada polígono foi gerado de forma individual, criado de acordo com a análise da imagem com características da feição. O mapa foi produzido em escala de trabalho média de 1:5.000, chegando em muitos casos a 1:1.000. Tal nível de detalhe do mapeamento possibilitou uma melhor inspeção visual das menores feições na superfície de estudo, similar ao estudo desenvolvido por Oliveira (2012).

A Figura 19 mostra a feição de uma voçoroca visualizada na imagem de alta resolução e checada em campo, na escala de 1:1.000.



Figura 19: Imagem da feição em campo adquirida em outubro de 2017 e por imagem utilizada (DigitalGlobe) para o mapeamento de voçorocas em escala de 1:1000

3.2.2.6. Validação do Mapeamento de Voçorocas

Foi utilizada a matriz de confusão para estimativa da acurácia do mapeamento de voçorocas deste estudo. A matriz de confusão gera dados que possibilitam estimar a acurácia do produtor, acurácia do usuário, a exatidão global e o índice *Kappa*.

Foram aleatorizados 20 pontos na área de estudo para a verificação das feições mapeadas visualmente na imagem de alta resolução espacial. Ao final, foram checados 12 pontos em campo, pois alguns pontos de checagem estavam localizados em áreas com acesso restrito (ver Figura 20). Os 12 pontos aleatórios localizados em feições mapeadas como voçorocas ou ravinas foram verificados em campo e inseridos na matriz de confusão e estimados a exatidão global e o índice *Kappa*.

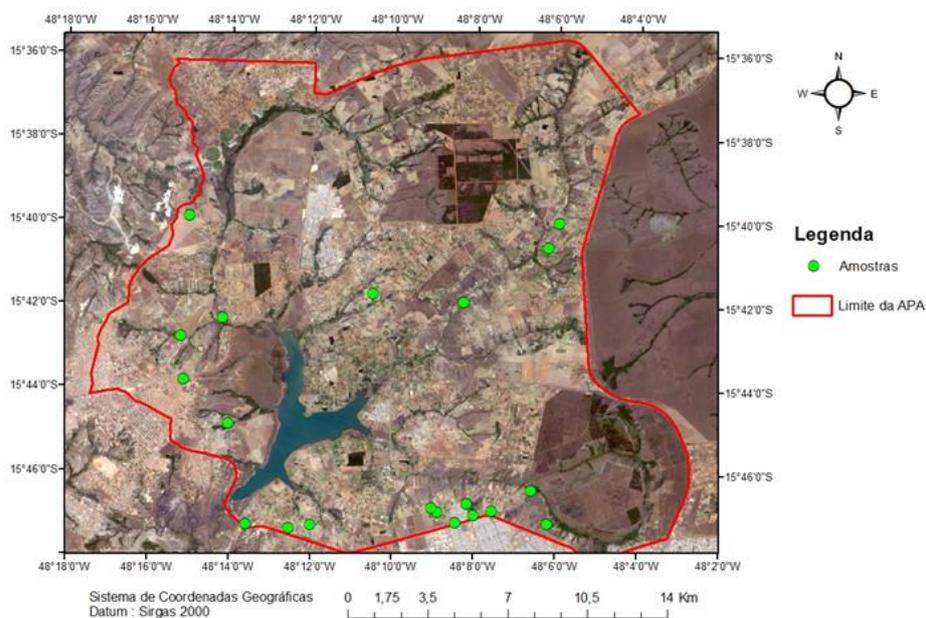


Figura 20: Amostras aleatórias para a verificação em campo do mapeamento de voçorocas.

3.3. Resultados

3.3.1. Erosividade da Chuva

Os resultados da análise da erosividade das chuvas variaram entre 6691,86 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ a 6361,28 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. O valor médio anual para a região estudada foi de aproximadamente 6580,53 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. (Desvio Padrão = 86,43 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Segundo a classificação utilizada por MACHADO et al. (2008) proposta por FOSTER et al. (1981), a área estudada é classificada com erosividade de média-alta (Tabela 12).

Tabela 12: Classificação da erosividade da chuva pela quantidade em (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) proposta por Foster et al (1981).

Erosividade	
Classes de Erosividade	
$R \leq 2452$	Baixa
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média-Alta
$7357 < R \leq 9810$	Alta
$R > 9810$	Muito Alta

De acordo com GALDINO et al. (2016), o período de maior ocorrência das chuvas no Distrito Federal e estado de Goiás, ocorre entre outubro e março, com mais de 80% do índice total anual pluviométrico nesses locais. Durante os meses de chuva, é concentrada a maior parte da erosividade, chegando a aproximadamente 94% do total anual da região. A má distribuição das chuvas contribui para uma maior taxa de erosão do solo. A distribuição do fator R para a área de estudo é apresentada na Figura 21.

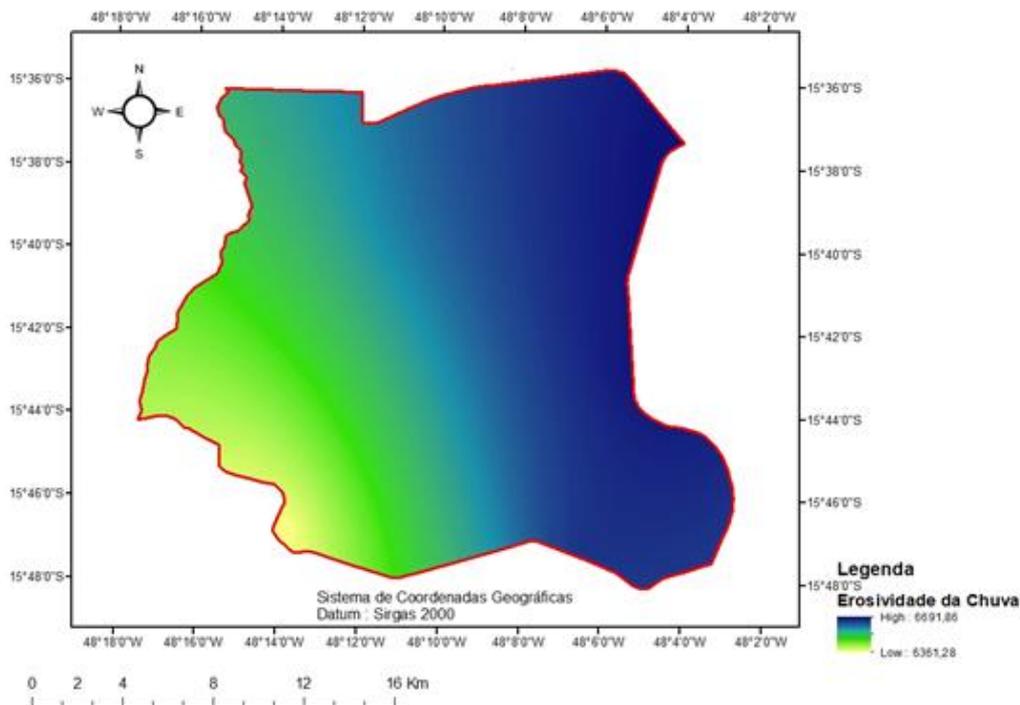


Figura 21: Fator R para a APA do rio Descoberto em (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹).

3.3.2. Erodibilidade do Solo

O fator Erodibilidade dos solos reflete a suscetibilidade à erosão ou a falta de capacidade de resistir aos processos erosivos para um determinado tipo de solo. Este fator estima o efeito combinado das propriedades intrínsecas do solo como: teor de matéria orgânica, estrutura, textura e permeabilidade. A erosão é maior em solos com texturas mais finas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; KUMAR; KUSHWAHA, 2013).

Deste modo, a espacialização do fator (K) está relacionada ao mapa pedológico da área de estudo, onde os coeficientes para cada tipo de solo foram determinados a partir do estudo de Bloise et al. (2001). Com dados pedológicos do SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás e adaptações do estudo de Reatto et al. (2003), foram confeccionados o mapa do fator K da EUPS (Figura 22).

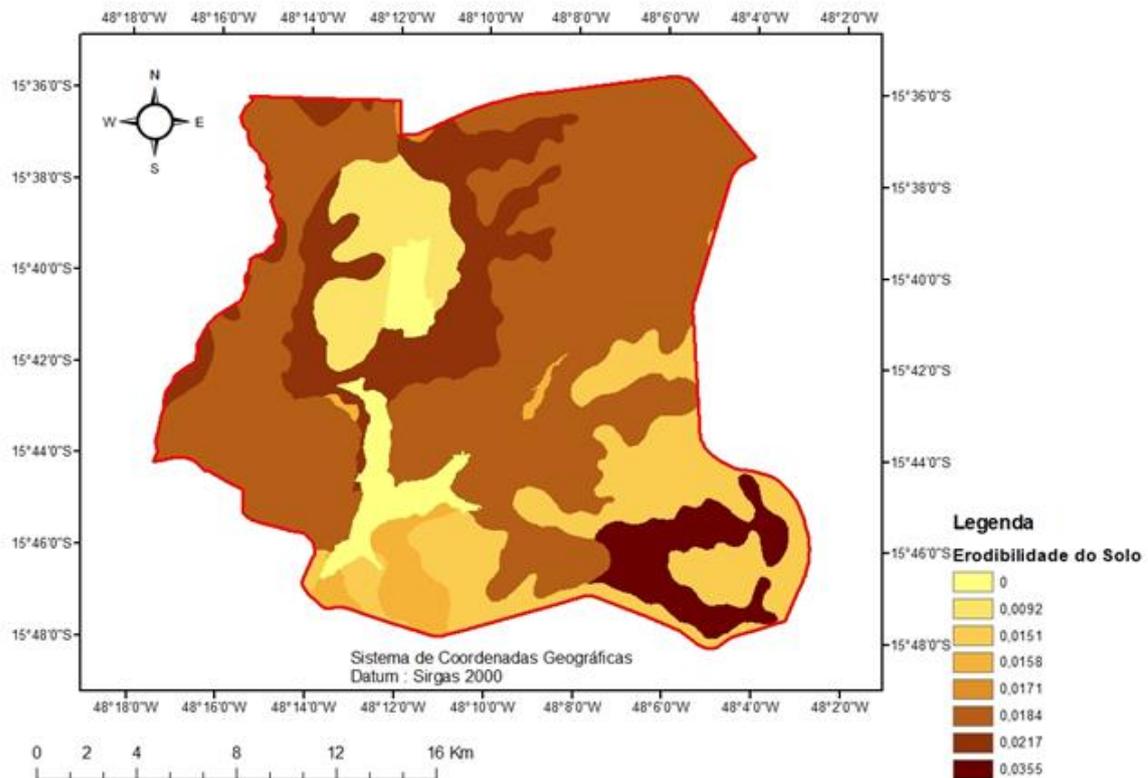


Figura 22: Erodibilidade dos solos (fator K) para a APA do rio Descoberto.

Os valores de K foram divididos nas classes de interpretação de erodibilidade das chuvas, conforme sugerido por Borges (2013), sendo organizados em uma nova disposição para o novo mapeamento de índices de classes para todos os tipos de solo da região (Figura 23).

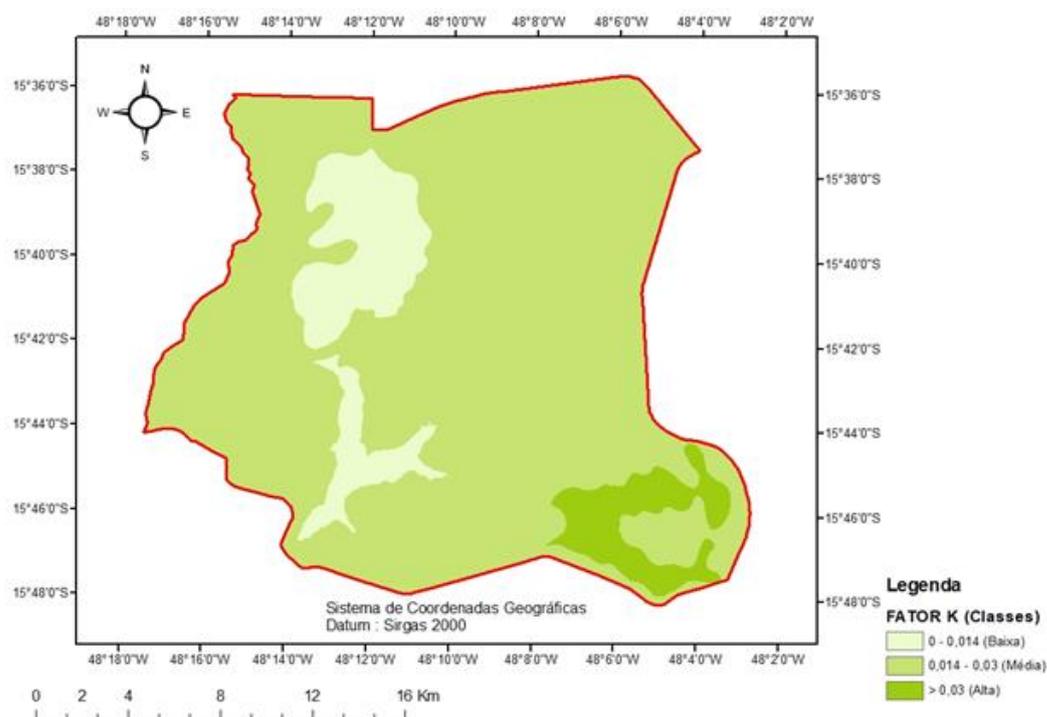


Figura 23: Erodibilidade dos solos (Fator K) na classificação baseado em Borges (2013).

Com base na distribuição espacial da erodibilidade dos solos na região de estudo (Figura 23), observou-se que as altas erodibilidades (5,2%) estão associadas, principalmente aos Gleissolos. As médias erodibilidades se concentram nas áreas ocupadas por Latossolo Vermelho- Amarelo, Cambissolo e Latossolo Vermelho (83,9%), compreendendo uma maior porção da área de estudo. E por fim, as baixas erodibilidades estão nas regiões de Latossolo Vermelho (Lvd2), Água e Área Urbana, compreendendo a parte mais central da bacia (10,9%).

3.3.3. Fator Topográfico

A espacialização do Fator Topográfico foi elaborada a partir do Modelo Digital do Elevação (DEM), gerado utilizando o método de interpolação das curvas de nível, originalmente geradas em escala de 1:10.000, do mapeamento da TERRACAP. A altitude na área de estudo varia entre 1.000,5 e 1.335,3 metros. O valor médio observado foi de 1155,3 metros (desvio padrão foi de 77,9). O resultado pode ser verificado na Figura 24.

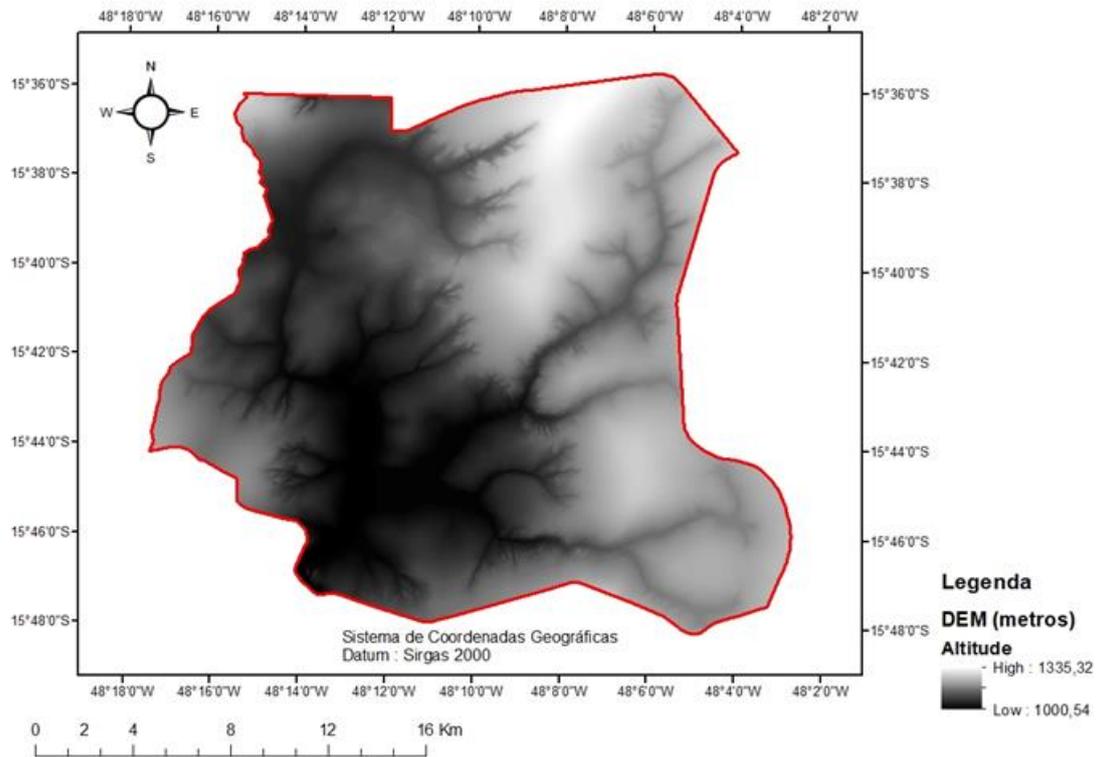


Figura 24: Modelo Digital de Elevação da APA do Rio Descoberto com dados da TERRACAP (2009).

A declividade e o comprimento de rampa determinam a velocidade de escoamento superficial e a erosão. Esses fatores topográficos caracterizam o potencial de transporte pela erosão em termos de tamanho e quantidade de material (BERA, 2017).

De acordo com o Modelo de Elevação Digital (DEM) para área de estudo, a declividade varia entre 0 e 77°, com declividade máxima inferior a 5°, em 80% de todo o território. Ou seja, a região tem alto potencial para os diversos usos e atividades humanas, levando em consideração apenas a declividade, permitindo a expansão urbana, industrial e atividades agropecuárias.

A variável declividade foi reclassificada em 5 classes, conforme apresentado na Figura 25 Neste caso, quanto maior a inclinação das vertentes da área, mais facilmente os processos erosivos intensificam perdas de solo e aumentam as ocorrências de deslizamentos de terrenos.

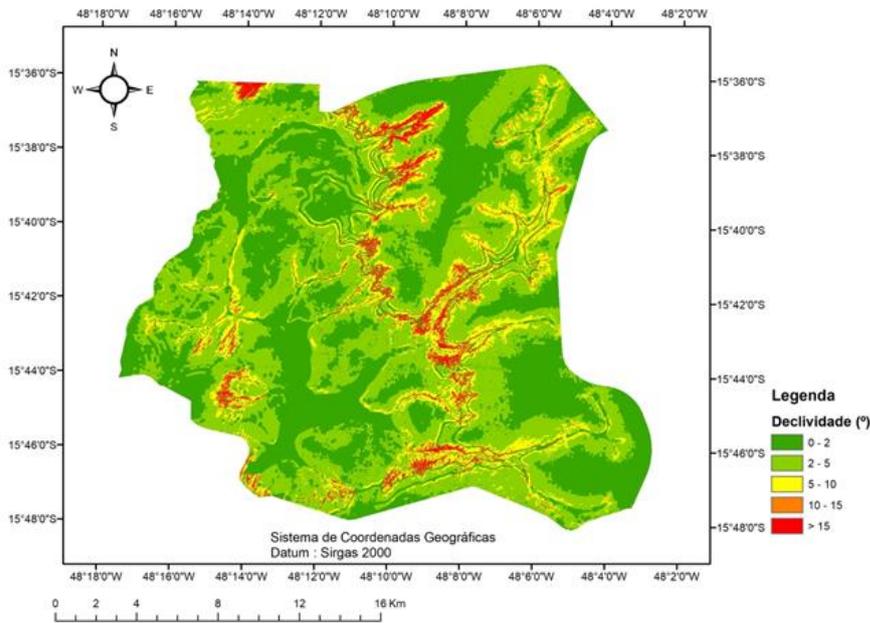


Figura 25: Classes de declividade do terreno para a região da APA do rio Descoberto.

Além da declividade (parte integrante do fator S), foram derivados do DEM outras variáveis intermediárias para o cálculo do comprimento de rampa (fator L). Primeiro, a direção do fluxo foi espacializada utilizando o modelo digital de elevação disponível na ferramenta direção de fluxo (*flow direction*) (Figura 26).

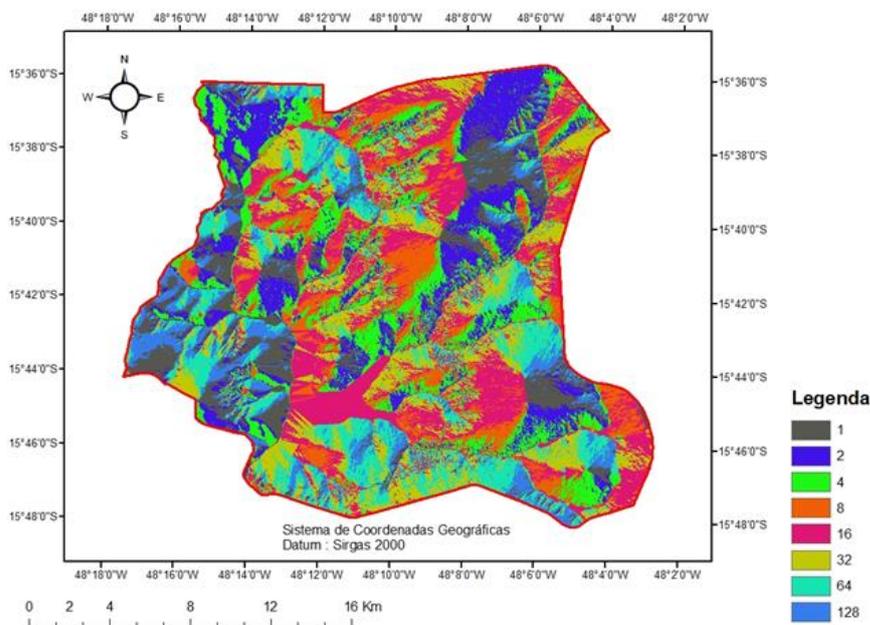


Figura 26: Direção do fluxo (dados secundários) para o cálculo do fator L da EUPS para a APA do rio Descoberto.

Subsequentemente, foi derivado o acúmulo de fluxo utilizando a ferramenta *flow accumulation* e a direção de fluxo como dados de entrada. A Figura 27 apresenta

os pontos que recebem maior acumulação com uma amplitude de valores de 0 a 1,58691 e+007.

O acúmulo de fluxo é gerado a partir da soma de área das células na direção do fluxo ou escoamento da bacia. As células com um elevado fluxo de acumulação são áreas de fluxo concentrado, em geral, são utilizadas para a identificação dos canais de transmissão. Desta forma, o acúmulo de fluxo é local onde há a conexão de vários divisores de água a sua montante (DÉSTRO, 2010).

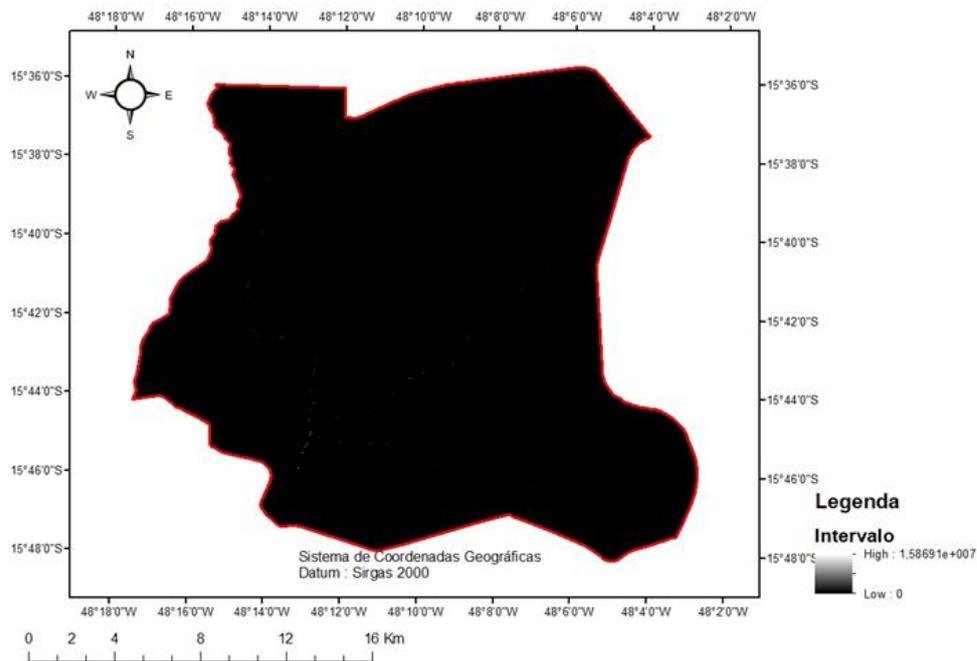


Figura 27: Acúmulo de fluxo (dado secundário) para cálculo do fator L da EUPS para a APA do rio Descoberto.

No fator LS, a declividade é a variável que apresenta uma maior influência na perda de solo. De um modo geral, as situações com maiores valores de declividade e velocidade de escoamento superficial tem maior influência na perda de solo (MOORE; WILSON, 1992; OLIVEIRA, 2012). A APA do rio Descoberto apresenta, predominantemente, regiões com baixos valores de declividade, contribuindo positivamente para a conservação do solo da região.

O fator LS é, portanto, derivado de dois fatores: comprimento de rampa e a declividade. Quanto maior a declividade e o comprimento de rampa, maior será a velocidade do escoamento superficial na vertente e, conseqüentemente, o transporte de sedimentos resultante do processo erosivo. A combinação do fator comprimento de rampa (L) e declividade (S) gera o fator (LS) (Figura 28).

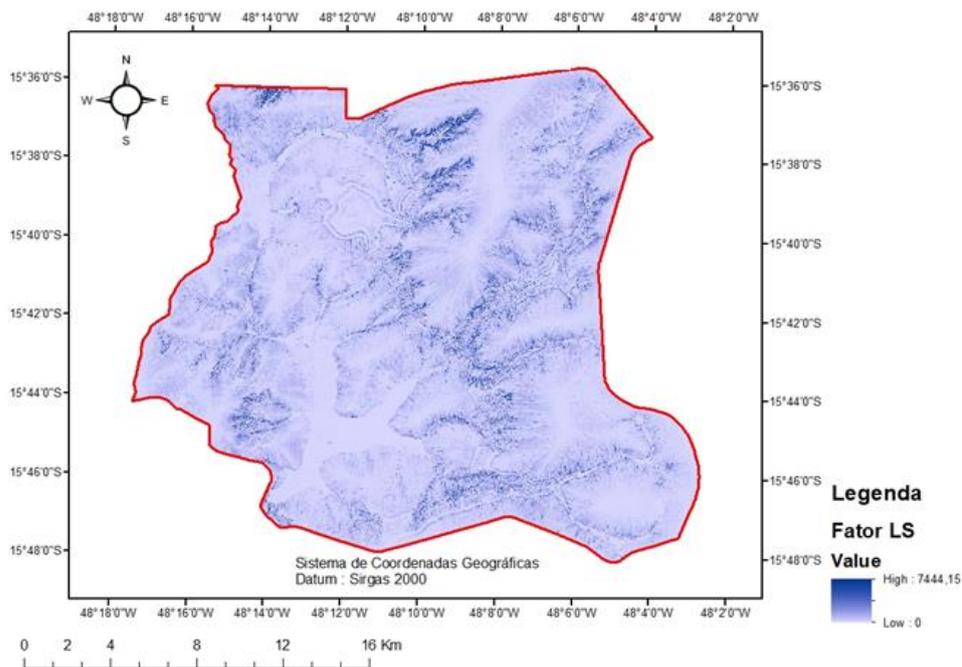


Figura 28: Fator LS para a APA do rio Descoberto.

3.3.4. Uso do Solo e Práticas Conservacionistas

A cobertura vegetal é um fator relevante para o cálculo da EUPS. O tipo de uso e cobertura da terra contribui com a redução ou aumento do poder erosivo provocado pelo impacto das gotas da chuva, afetando também com o volume de água que impacta o solo. Ou seja, a escolha da cobertura da terra pode ser uma das formas de controle da erosão, comumente adotadas para a mitigação do aumento dos processos erosivos, pois é uma variável que depende exclusivamente da ação do homem (NUNES et al., 2011).

No caso da área do presente estudo, as classes de uso e ocupação da terra em 2014 na APA do rio Descoberto foram preparadas utilizando a classificação supervisionada MaxVer e imagens *Rapid-Eye*. As classes identificadas foram reclassificadas com valores de C, conforme valores desenvolvidos por Stein (1987). Posteriormente, o fator CP foi espacializado para toda a área de estudo, como pode ser visto na figura 29 e tabela 13.

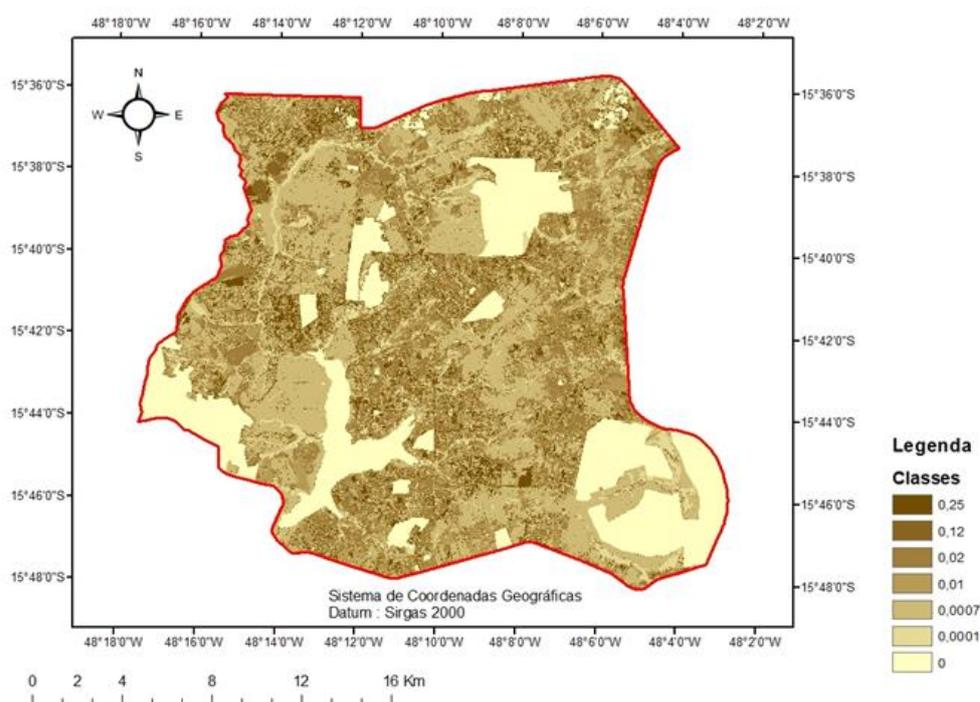


Figura 29: Fator CP para a APA do rio Descoberto.

Tabela 13: Fator CP e área (%) para cada classe de uso da terra.

Classe de Uso do Solo	Valores de CP	Área (%)
Agricultura	0,0200	22,02
Corpos d'água	0,0000	3,03
Cerrado	0,0007	32,89
Mata de Galeria	0,0001	6,13
Pastagem	0,0100	8,24
Solo Exposto	0,2500	11,26
Área Urbana	0,0000	4,55
Reflorestamento	0,0001	9,92
Pivô Central	0,1200	0,24

3.3.5. Cálculo do Potencial de Erosão da APA do Rio Descoberto

O cálculo da EUPS estima a perda de solo por erosão laminar. A perda de solo acima de 100 t/ha.ano são processos erosivos mais intensos, tais como ravinas, sulcos e voçorocas. A EUPS não é eficiente para estimar erosão causadas por esses processos erosivos (CHAVES, 2010). Assim, para evitar superestimativas da erosão laminar com a aplicação da EUPS, para os casos de erosão por ravinamento ou voçorocas, o Potencial de Erosão foi limitado a 100 (ton/ha.ano).

Os resultados da estimativa da erosão laminar para a área do presente estudo utilizando a EUPS alcançaram valores variando entre 0 a 100 t ha⁻¹ ano⁻¹. O valor médio anual para a região estudada foi de aproximadamente 3,26 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Desvio Padrão = 11,22), conforme apresentado na Figura 30 e na Tabela 14.

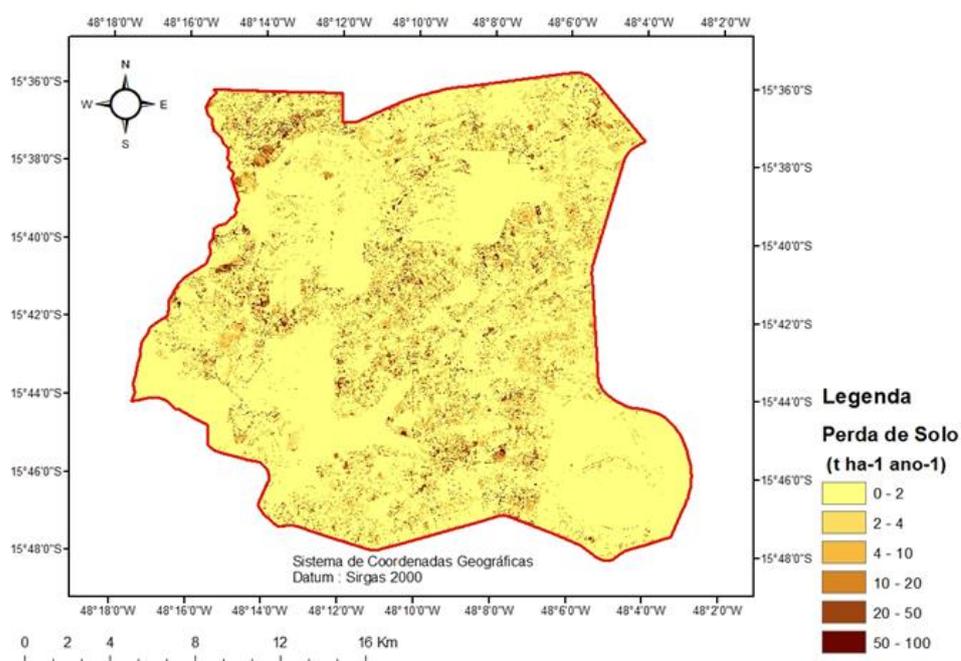


Figura 30: Estimativa da erosão laminar na APA do rio Descoberto utilizando a EUPS.

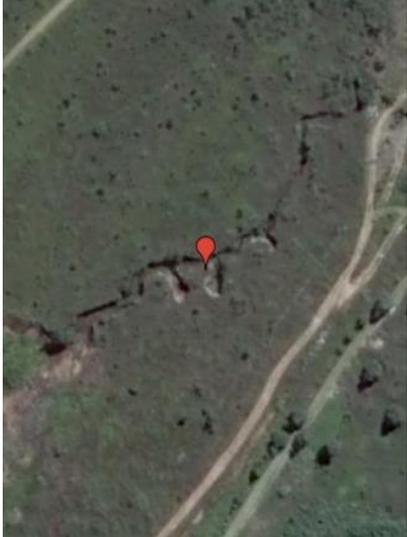
Tabela 14: Resultado em classes de perda de solo do mapeamento da EUPS para a APA do rio Descoberto.

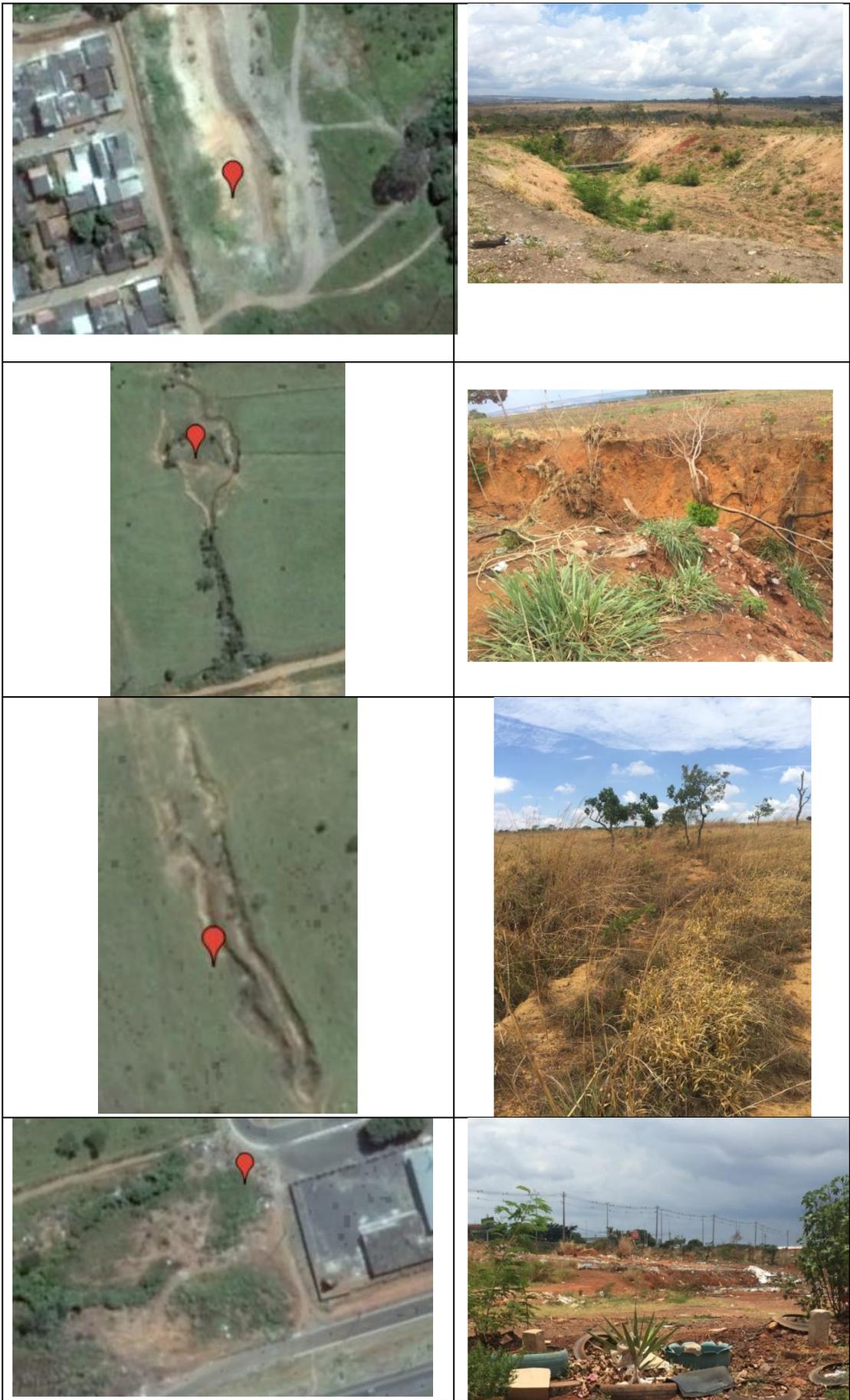
Perda de solo	Área da APA (%)	Área da APA (ha)
0-2	80,31	32981,09
02-04	6,66	2736,77
04-10	5,52	2268,90
10-20	2,99	1229,78
20-50	3,01	1234,38
50-100	1,50	613,28

3.3.6. Resultado da Validação de Campo

As amostras para verificação em campo foram selecionadas aleatoriamente e as imagens apresentam os registros de 12 amostras verificadas em campo e uma breve descrição das feições observadas na validação nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Verificação de campo das amostras de voçorocas selecionadas na APA do rio Descoberto.

Pontos de Verificação	Imagens em Campo
	
	





	
	<p>SEM FOTO</p>
	<p>SEM FOTO</p>

Tabela 16: Descrição das amostras de voçorocas selecionadas verificadas em campo.

Ponto em Campo	Descrição da análise em Campo	Voçoroca
01	Região de voçoroca com aproximadamente 2 metros de profundidade com a presença de acúmulo de água na porção final em região de Cerrado.	SIM
02	Região de voçoroca de formato circular com presença de lixo e entulho dentro em região de pastagem dentro de uma propriedade privada.	SIM
03	Processos de voçorocamento nas porções externas de uma grande área degradada de solo exposto localizada próximo a área urbana do Cond. Privê (Ceilândia) ao lado de uma estrada.	SIM
04	Voçoroca dentro de uma propriedade rural com profundidade de 1,5 metro em região de pastagem/agricultura com início próximo a estrada de terra entre propriedades	SIM
05	Voçoroca dentro de uma propriedade rural com profundidade de 1 metro em região de pastagem	SIM
06	Área degradada de extensão de aproximadamente > 50 m ² próximo, utilizada como área de descarte de material de obra e lixo, região próximo a uma área urbana.	NÃO
07	Área com presença de voçorocamento próximo a um tanque de água dentro de uma propriedade rural com fim de recreação	SIM
08	Região de voçoroca de formato linear próximo a BR 070, região de Cerrado na beira da estrada	SIM
09	Região de voçoroca de formato linear acompanhando do declive do terreno dentro de uma pastagem numa propriedade rural	SIM
10	Região com voçorocamento por conta da área degradada próxima a estrada	SIM
11	Região de voçoroca acompanhando o declive do terreno dentro de uma propriedade rural	SIM
12	Voçoroca entre duas estradas dentro da cidade de Águas Lindas com a presença de lixo e entulho	SIM

Com base nas observações de campo, estimou-se uma acurácia total de 96%, o que indica um excelente mapeamento. O índice Kappa foi de aproximadamente 0,93, que é também considerado um excelente resultado para o mapeamento (Tabela 17).

Tabela 17: Matriz de Confusão do mapeamento de voçorocas realizado através da classificação visual.

Observado (Campo)	Classificação			
	Voçoroca	Não Voçoroca	Total	AP
Voçoroca	11	0	11	1
Não Voçoroca	1	20	21	0,95
Total	12	20	32	
AU	0,91	1		

3.3.7. Resultado do Mapeamento de Voçorocas

Com base nos resultados deste mapeamento foram identificadas 88 ravinas e voçorocas na região da APA do rio Descoberto em 2016. As feições estão espalhadas

por toda a região da APA com uma presença maior na porção Sul, onde se localiza a região do DF próximo a BR 070 e as cidades de Taguatinga e Ceilândia (Figura 31), com a espacialização das voçorocas dentro do limite da APA.

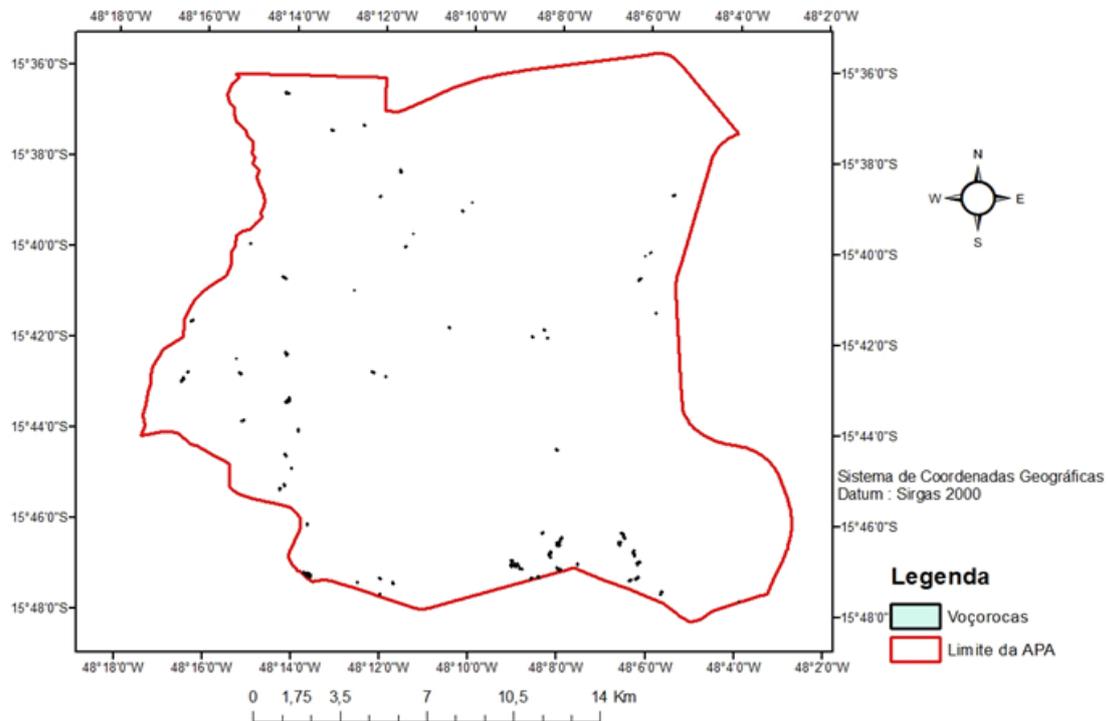


Figura 31: Distribuição espacial das voçorocas e ravinas identificadas na APA do rio Descoberto em 2016.

Os processos de erosão por voçorocas e ravinas exigem monitoramento rigoroso, tendo em vista as consequências desses processos erosivos, que causam grandes prejuízos ao meio ambiente e, conseqüentemente, para o ser humano (SHIT et al., 2015). As ravinas e voçorocas podem destruir o solo, danificar os campos agrícolas, apresentar riscos a infraestrutura de edificações, degradar a qualidade da água superficial, efeitos estes que podem ser difíceis de reverter (CHEN et al., 2017).

Na maioria dos casos, as principais causas da erosão do solo, especialmente tipo de erosão do barranco, são o uso intensivo da terra e o cultivo de culturas, geralmente implementadas ao longo do fluxo de superfície ao longo do declive (CONFORTI et al., 2011; SERPA et al., 2015; STAVI et al., 2016). A cobertura da terra influencia no processo de erosão, conseqüentemente, no surgimento de voçorocas e ravinas. O solo exposto apresenta a maior quantidade de voçorocas em porcentagem mesmo sendo apenas 11% da área total da APA, como pode ser visto na tabela 18. Isso significa que o solo sem cobertura facilita a ação de processos erosivos severos e por isso, é necessária a recuperação da cobertura vegetal (SANTOS et al., 2010).

Tabela 18: Resultado da quantidade de voçorocas em relação aos usos da terra da APA do rio Descoberto.

Uso da terra	Quantidade	Quantidade (%)	Área APA (%)
Agricultura	9	10,3	22,0
Área Urb.	5	5,8	4,6
Cerrado	29	33,3	32,0
Mata de G.	1	1,2	6,1
Pastagem	12	13,8	8,2
Solo Exp.	31	35,6	11,3

O fator topográfico é outro fator de grande influência nos processos de voçorocamento. Os parâmetros topográficos influenciam a variação espacial das condições hidrológicas, como o taxa de escoamento, a umidade do solo, fluxo subterrâneo e estabilidade da inclinação (POURGHASEMI et al, 2012). Portanto, os fatores condicionantes da análise da erosão de voçorocas incluem altitude, inclinação, curvatura e comprimento da rampa (ZAKERINEJAD; MAERKER, 2015).

Com base nos resultados deste estudo, observou-se que as áreas de voçorocas e ravinas estão mais concentradas nas classes de declividade de (2 a 5°) e de (5 a 10°), conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Quantidade de voçorocas em relação as classes de declividade da APA do rio Descoberto.

Declividade	Quantidade (Un.)	Quantidade (%)	Área APA (%)
0 – 2	14	16,1	40,5
2 – 5	34	39,1	43,5
5 – 10	27	31,0	11,1
10 – 15	7	8,1	2,7
> 15	5	5,8	2,3

O fator K da EUPS, relacionado diretamente aos tipos de solo, está relacionado ao surgimento de voçorocas. De acordo com RAHMATI et al. (2016), as propriedades físicas do solo desempenham um papel importante na infiltração do solo, no escoamento taxa, resistência do solo à erosão e ocorrência de barranco. A textura do solo também influencia o fluxo subterrâneo e a ocorrência de erosão sub-superficial, que pode levar a formação de barrancos quando as tubulações formadas desmoronam.

Os solos Latossolos é o tipo de solo predominante na APA do rio Descoberto. Por isso, mesmo apresentando baixa-média taxa de erodibilidade e boa resistência à erosão, os a maior quantidade de voçorocas foram identificadas sobre os Latossolos, seguida pelos Cambissolos, Neossolos e Gleissolos na área de estudo (Tabela 20).

Além disso, os latossolos são profundos e muito utilizados para a agricultura intensiva devido a sua boa aptidão agrícola. Uma vez desprotegidos pela vegetação, são compactados, dificultando a infiltração e favorecendo o escoamento superficial, importante elemento no surgimento de voçorocas. Regiões com solo exposto tornam os latossolos áreas propensas à erosão.

Tabela 20: Quantidade de voçorocas em relação ao fator K de cada tipo de solo da APA do rio Descoberto.

Fator K	Quantidade	Área APA (%)	
		Quantidade (%)	
0	1	1,15	4,50
0,0092	5	5,75	6,35
0,0151	19	21,84	15,73
0,0158	7	8,05	3,10
0,0171	0	0,00	0,14
0,0184	39	44,83	51,69
0,0217	8	9,20	13,32
0,0355	8	9,20	5,17

3.4. Conclusão

A APA do rio Descoberto apresenta grande extensão de áreas com baixo potencial de erosão laminar. No presente estudo estimou-se uma taxa média de 3 ton./ha/ano, a maior parte influenciada pelas condições de relevo (baixa declividade média) e a predominância de vegetação nativa observada na APA. A extensa região com cobertura vegetal nativa e o baixo grau de erodibilidade dos solos dificultam os processos erosivos na área de estudo. O uso da terra é, portanto, o fator crucial e de maior potencial para alterar os processos erosivos na região de estudo, pois as mudanças no uso e ocupação podem variar rapidamente de acordo com as ações antrópicas.

A dificuldade de calcular a EUPS em regiões urbanas influenciou o resultado final do processo erosivo, pois foi adotado o valor 0,0 para o fator C (uso da terra) para o cálculo. Porém, foi observado que várias áreas urbanas estão ocupadas por solos expostos na área de estudo, contribuindo para o aumento da erosão.

O mapeamento de voçorocas e ravinas segue a mesma tendência dos processos de erosão laminar estimados utilizando a EUPS, com fortes efeitos das condições de relevo, uso da terra e tipo de solo. O solo exposto foi a classe de uso com maior predominância de ravinas e voçorocas, com solos desprotegidos pela cobertura vegetal, o que contribui com a lixiviação de nutrientes, o aumento de fluxo superficial e, conseqüentemente, o aumento dos diferentes processos erosivos. Portanto, as políticas de definição de uso da terra e de manejo adequado dos solos podem ser decisivas na

manutenção dos diversos sistemas produtivos da área de estudo, incluindo serviços ambientais como os recursos hídricos. Destacam-se aqui a definição de zonas econômico-ecológicas, adoção de técnicas de conservação e manejo do solo e o fomento à implantação de sistemas de produção alternativos, como os consórcios agroflorestais.

4 CAPÍTULO IV - FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA

4.1 Introdução

O processo de antropização acelera a degradação do solo de uma determinada região, principalmente, em casos de ocupação sem o conhecimento prévio das características da aptidão de uso do solo. O processo de ocupação de áreas de vegetação nativa substituindo por cultivos agrícolas ou pastagens vem promovendo perdas expressivas da biodiversidade do bioma Cerrado. Este bioma consiste na savana com a maior biodiversidade do mundo e por conta desta ocupação desenfreada, o Cerrado é considerado um dos 34 “hotspots” - áreas prioritárias para conservação da biodiversidade. Este bioma tem sido sistematicamente fragmentado por conta da degradação da vegetação nativa dentro de propriedades públicas, privadas, comunitárias ou áreas que não foram incorporadas ao processo (FARIA e CASTRO, 2008).

A antropização de áreas naturais tem causado grandes impactos na paisagem através do processo ativo de mudança na cobertura do solo por conta da fragmentação de remanescentes nativos. Este processo pode influenciar a disponibilidade e a qualidade dos recursos naturais, além de afetar a biodiversidade em grandes áreas do planeta (COELHO et al., 2014).

A melhor maneira de monitorar mudanças na cobertura da terra e estudar o processo de fragmentação da paisagem é por meio de técnicas de sensoriamento remoto através de análises temporais que fornecem dados importantes sobre as características ambientais. Os dados de mapeamentos temáticos com dados de sensoriamento remoto, permitem, a partir de técnicas utilizando métricas da paisagem, compreender melhor as mudanças das paisagens quantificando suas estruturas (PANG et al., 2010; ZARAGOZÍ et al., 2012).

As pesquisas relacionadas à análise da paisagem vêm crescendo, principalmente, as abordagens referentes a compreensão dos padrões e processos determinísticos a fragmentação da vegetação nativa. A adoção deste enfoque de pesquisa se tornou imprescindível para entender e conservar a biodiversidade remanescente, geralmente encontrada em pequenos fragmentos florestais, historicamente marginalizados e pouco focados em estudos ambientais (SLAVIERO, 2007). Ainda segundo Slavieiro (2007), a análise da paisagem em regiões intensamente fragmentadas é de fundamental importância para o estabelecimento de modelos de

preservação e conservação da biodiversidade, por determinar o grau de comprometimento ecológico/geográfico da área em análise.

Estudos mostram que os corpos hídricos são receptores de poluentes provenientes de regiões em processos de ocupação adjacentes. Assim, o padrão de paisagem, incluindo a composição e configuração espacial, está diretamente correlacionada com a qualidade e a disponibilidade da água (SHEN et al., 2015; YANG, 2012).

Tundisi(2008) destacou que, no amplo contexto social, econômico e ambiental do século XXI, os seguintes processos são as causas principais da “crise da água” em grandes centros urbanos ao redor do mundo:

- Intensa urbanização, aumentando a demanda pela água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados e com grandes demandas de água para abastecimento e desenvolvimento econômico e social
- Estresse e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e aumento de demanda.
- Infraestrutura pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas com até 30% de perdas na rede após o tratamento das águas
- Problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (chuvas intensas e período intensos de seca).
- Problemas na falta de articulação e falta de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

No Brasil, a Lei n. 9.433/97, que definiu o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), iniciou a implantação da gestão integrada das águas. Apesar da aceitabilidade, esse conceito é de alta complexidade e encontra inúmeras dificuldades para sua implantação, principalmente, por conta da descentralização e necessidade de articulação dentro a sociedade.

Segundo Porto(2008), a contribuição essencial do PNRH para o Brasil é sua contribuição para um novo paradigma de gestão de bacias hidrográficas de um bem de uso comum, cuja má administração pode trazer efeitos bastante perversos para toda a sociedade brasileira. A bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico, onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se

dá pelos sistemas hídricos. A bacia hidrográfica é a principal extensão territorial de estudo para os recursos hídricos (PORTO, 2008).

Nesse caso, a interação entre disponibilidade/demanda de recursos hídricos com a população da bacia hidrográfica e a atividade econômica e social, considerando-se o ciclo hidrossocial, é também fundamental e de grande alcance para o futuro. A bacia do rio Descoberto inclui um dos principais reservatórios de água que o DF.

No presente Capítulo desta pesquisa, buscou-se avaliar os principais efeitos das mudanças na cobertura e uso da terra sobre a estrutura e composição da paisagem e seus impactos nos recursos hídricos da APA do rio Descoberto. Foram analisadas imagens dos satélites da série Landsat, envolvendo uma série temporal (1985, 1995, 2005 e 2015) para entender a dinâmica do uso da terra nas últimas décadas. Os dados da dinâmica do uso e cobertura da terra foram utilizados para estimar as métricas de paisagem para área de remanescentes de vegetação nativa. Foi também utilizado dados de saneamento básico para avaliar os principais fatores contribuintes para a escassez de água na área de estudo.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Classificação do Uso e Cobertura da Terra

As análises do uso e cobertura da terra na área de estudo foram baseadas em imagens dos satélites Landsat-5 sensor TM (*Thematic Mapper*) e Landsat-8 OLI (*Operational Land Imager*), na órbita/ponto 221/071, resolução espacial de 30 m, adquiridas em 1985, 1995, 2005 e 2015. Foram utilizadas as bandas de 1 a 5 e 7 do Landsat-5 TM e bandas de 2 a 7 do Landsat-8 OLI.

As imagens foram obtidas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A Tabela 21 apresenta mais detalhes da base de dados utilizada neste estudo. A escolha das datas das cenas Landsat foram baseadas na qualidade das imagens, levando em consideração os meses mais secos na região para minimizar a quantidade de nuvens e ter uma maior visibilidade possível.

Tabela 21: Dados das imagens Landsat utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2015 na APA do rio Descoberto.

Datas (Landsat)			
Landsat - 5	Landsat - 5	Landsat - 5	Landsat - 8

Órbita/ponto	1985	1995	2005	2015
221/71	14-jun	10-jun	23-jul	1-jun

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi feito pelo método de classificação supervisionada, algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer), onde foram delimitadas as classes temáticas: área queimada, reflorestamento, vegetação nativa, áreas antropizadas e corpos d'água. O método de classificação supervisionada (MaxVer) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos. No MaxVer, assume-se que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. É um método de classificação pixel a pixel (MENESES e ALMEIDA, 2012).

4.2.2. Métricas de Paisagem

Os mapas temáticos foram utilizados como ponto de partida para conduzir a análise da fragmentação da paisagem. As classes de uso e cobertura da terra foram simplificadas criando duas formas de classificação para as classes originais: vegetação (vegetação nativa) e não vegetação (áreas queimadas, reflorestamento, áreas antropizadas e corpos d'água), com o enfoque da análise na fragmentação da vegetação nativa.

Os índices de estrutura da paisagem para cada escala de análise foram calculados utilizando a software FRAGSTAT. O programa utilizado é composto por um conjunto de ferramentas que consegue quantificar a estrutura da paisagem (padrões espaciais) em mapas categóricos de cobertura do solo, através de estatísticas divididas em níveis de fragmento ou fragmentos (características geométricas do fragmento individual) e nível de paisagem (reproduz as características estruturais da paisagem como um todo)(LANG; BLASCHKE, 2009).

As métricas da paisagem foram calculadas a partir de índices selecionados que possibilitaram quantificar os seguintes itens: elementos da paisagem, estimando a área, densidade, forma, área central, proximidade e isolamento (MCGARIGAL, 2013).As métricas geradas estão descritas nos itens abaixo:

- Métricas de área e densidade

O número de fragmentos (NP) foi calculado em nível fragmento. Este nível mede a quantidade de fragmentos para cada tipo de classe, indicando a sua fragmentação. A quantidade da paisagem que é ocupada pela maior mancha (LPI), e a quantidade de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND) e a área média dos fragmentos (AREA_MN) foram calculadas em nível de classe (LEITÃO et al., 2012).

- Métricas de forma

Foram utilizados três métricas em nível de classe para mensurar a forma dos fragmentos. O índice de forma médio (SHAPE_MN) dos fragmentos que representam a categoria. Mapas feitos a partir do formato matricial (*raster*) que possuem o pixel como forma padrão (forma quadrada) e valor da forma (*shape*) = 1. É considerada a forma mais irregular a que mais se distanciar do valor padrão. A dimensão fractal média (FRAC_MN) que calcula o quão complexa são as formas dos fragmentos pode variar de 1 (para manchas com formas mais simples e regulares) a 2 (para manchas com formas mais complexas).

- Métricas de área central

A área do fragmento que mantém as características físicas da vegetação original é definida como a área central. Ela está associada à qualidade interna do fragmento em possibilitar condições para a manutenção da biodiversidade (METZGER, 1999).

Para a análise das características que correspondem à área central, foi considerado a distância de 90 metros de borda, considerando o tamanho de pixel da imagem (de 30m). Foram utilizados três métricas em nível de classe, são elas: a porcentagem da área do núcleo relativamente à paisagem (CPLAND), o número de áreas centrais disjuntas (NDCA) e o índice de área central médio (CAI_MN) que revela a porcentagem da mancha que é área de interior.

- Métricas de proximidade e isolamento

Os índices calculam a distância de borda a borda entre os fragmentos com base no fragmento vizinho mais próximo, considerando o mesmo tipo de vegetação. Foi estimado, em nível de classe, o índice de proximidade média (PROX_MN), adimensional, variando de zero ao infinito e que também pode ser utilizado como um valor comparativo.

4.2.3. Disponibilidade Hídrica

Complementarmente à análise de uso da terra e a fragmentação da paisagem na área de estudo deste trabalho, foram pesquisados os dados hidrossociais disponíveis para o mesmo período de estudo (1985 – 2015). Esses dados foram então relacionados uns com os outros para entender melhor a dinâmica do consumo e disponibilidade hídrica da APA do rio Descoberto.

Os dados utilizados (1995-2015), foram adquiridos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), empresa responsável pelo abastecimento de água doméstico de água no Distrito Federal. Também foram adquiridos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), um portal federal com informações a respeito do saneamento básico de todos os estados brasileiros, os seguintes dados:

- Vazão Mensal do Rio Descoberto;
- Precipitação Anual (utilizado no capítulo 3 para cálculo da EUPS);
- Consumo Médio no DF;
- População Atendida por Abastecimento de Água;
- Captação Média;
- Índice de Perda por Abastecimento;

A vazão, ou volume escoado por unidade de tempo, é a principal grandeza que caracteriza um escoamento. Normalmente é expressa em metros cúbicos por segundo ($m^3 \cdot s^{-1}$) ou em litros por segundo ($L \cdot s^{-1}$) (SOUZA et al., 2009).

A maioria dos estudos sobre a precipitação, o valor da precipitação é baseado em dados pluviométricos mensais e anuais, valores expressos em mm. Os dados adquiridos das estações pluviométricas utilizadas no capítulo 2 desta dissertação.

O consumo médio per capita traduz o volume de água diário, requerido por indivíduo, usualmente expresso em Litro/hab.dia. Esse valor é adotado, nos projetos de sistemas de abastecimento de água, para satisfazer ao consumo doméstico e público de uma determinada região de abastecimento (FERNANDES NETO et al., 2004).

E, por fim, os valores do crescimento populacional, dados adquiridos por estudos e levantamentos demográficos do CENSO (IBGE). Os censos demográficos são planejados para serem executados nos anos de finais zero, ou seja, a cada dez anos. Desta forma o último censo realizado no Brasil foi no ano de 2010.

4.3. Resultados

4.3.1. Métricas da Paisagem

Os resultados obtidos com a classificação e quantificação das métricas de área, densidade e tamanho dos fragmentos florestais estão disponíveis na Tabela 22.

Tabela 22: Resultado das métricas de paisagem calculadas no software Fragstat.

Métricas	1985	1995	2005	2015
NP	1822	2508	2964	2885
LPI	16,7377	19,5156	6,2328	7,0435
PLAND	42,3974	43,9897	36,6143	38,8087
AREA_MN	9,7282	7,3333	5,1683	5,6267
SHAPE_M	1,3419	1,2748	1,2182	1,2811
N				
FRAC_MN	1,0507	1,046	1,0383	1,0467
CPLAND	12,0627	16,2539	10,944	12,1311
NDCA	1245	1219	1219	1288
CAI_MN	0,3155	0,4227	0,3960	0,4040
PROX_MN	4202,4290	3418,0850	697,8295	761,6107

Com base nos dados da Tabela 22, observa-se o aumento da fragmentação da paisagem na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015, com o aumento do número de fragmentos (NP) e diminuição de suas áreas médias (AREA_MN).

As métricas de área e densidade indicam que o maior fragmento de vegetação nativa (LPI) para a região de estudo (APA do rio Descoberto), que apresentava 16 % em 1985, foi reduzido para 7% em 2015 (Figura 32). Esta redução afeta diretamente a biodiversidade e conservação dos remanescentes de vegetação nativa.

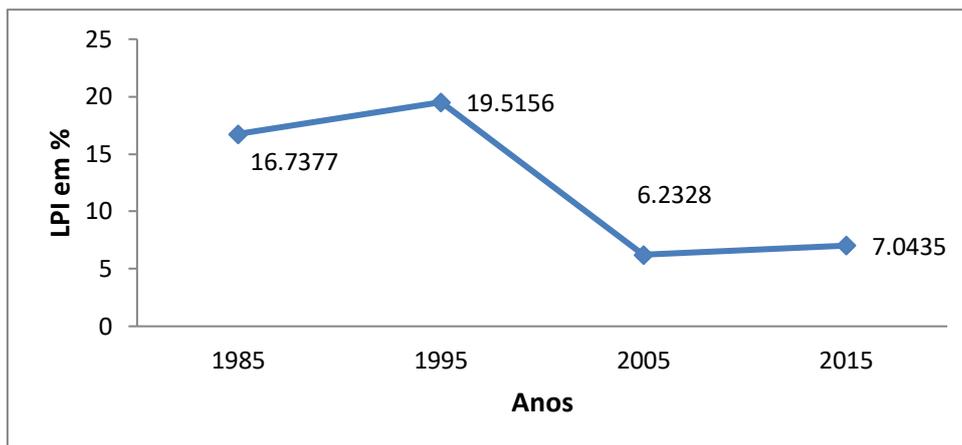


Figura 32: Variação temporal da métrica LPI (eixo Y em %) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 a 2015.

Os resultados desta métrica indica que quanto menor o índice LPI, menos favoráveis são as condições para os seres desenvolverem seus papéis ecológicos, como dispersão e polinização. A redução de LPI, está relacionada ao aumento da dificuldade no abastecimento para fragmentos menores, prejudicando as condições favoráveis para a manutenção da biodiversidade presente no local (MCGARIGAL et al., 2002).

A área ocupada por fragmentos de vegetação nativa diminuiu nos anos estudados. A métrica PLAND indica a porcentagem em que a área é ocupada por fragmentos de determinada classe. Assim, quanto maiores os valores deste índice, mais favoráveis são as condições de conservação, já que corresponde a classe de cobertura do uso do solo local (MCGARIGAL et al., 2002). No presente estudo, os valores de PLAND variaram de 42 % para 38 % entre 1985 e 2015, respectivamente, indicando a redução na área de cobertura de vegetação nativa ao longo do período estudado (Figura 33).

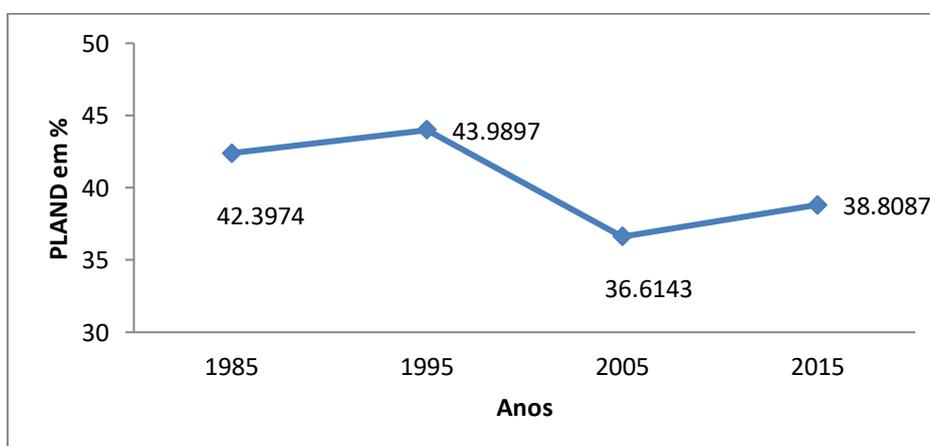


Figura 33: Variação temporal da métrica de paisagem PLAND (eixo Y em %) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 a 2015.

A métrica do tamanho médio dos fragmentos (ÁREA_MN) apresentou uma diminuição expressiva para a região e período de estudo (Figura 34). A média de tamanho, em 1985, era de 9,72 ha por fragmento e no ano de 2015, a média passou a ser de menos de 5,62 ha, uma redução de 40 % do tamanho em relação ao primeiro ano de estudo. Em geral, o tamanho médio do fragmento está relacionado com a quantidade de fragmentos na paisagem, por conta da divisão das manchas e redução pelo efeito de borda (MCGARIGAL, 2002).

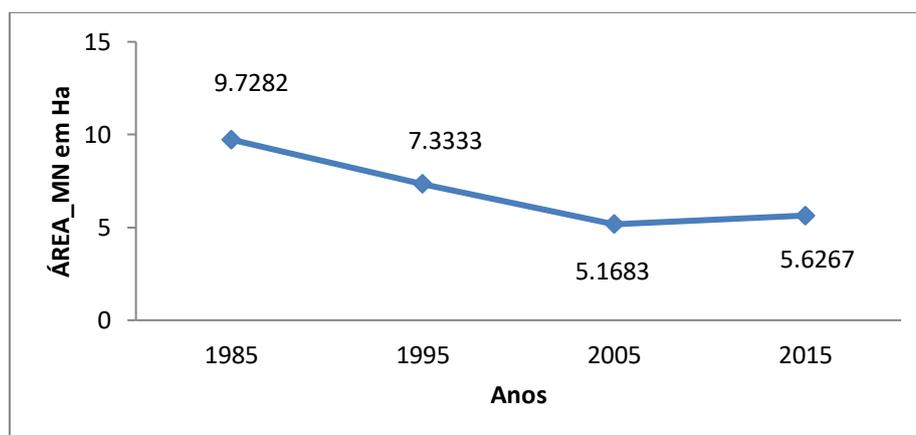


Figura 34: Variação temporal da métrica ÁREA_MN (eixo Y em hectares) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 a 2015.

Em 2005 foi observado o maior número de fragmentos na área de estudo. Neste ano, foi observado também a menor média do tamanho dos fragmentos (Figura 35). A área média dos fragmentos diminuiu à medida que a quantidade de fragmentos aumentou, indicando uma menor diversidade local porque a riqueza das espécies é diretamente afetada pela a dimensão dos fragmentos. O parâmetro para melhor explicar as variações de riqueza de espécies é a área de cada fragmento (PIROVANI et al., 2014; MCGARIGAL et al., 2002).

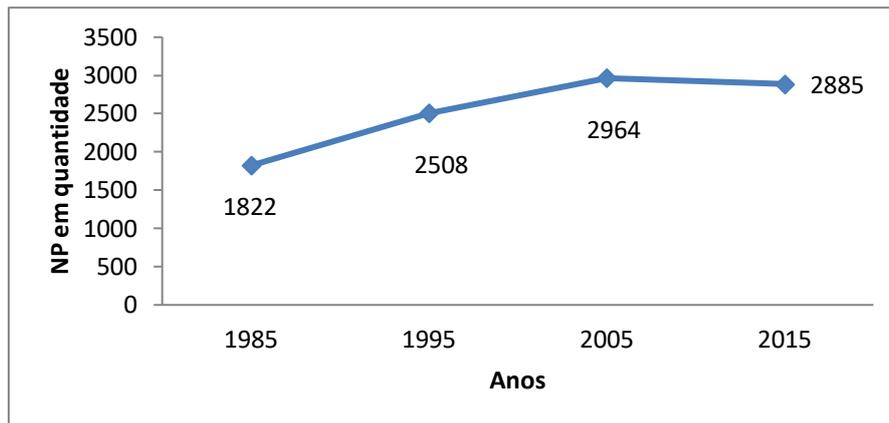


Figura 35: Variação temporal da métrica NP (eixo Y em quantidade) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.

A área central de um fragmento é o melhor indicativo da qualidade dos fragmentos do que sua área total (MCGARIGAL et al., 2002). Maiores valores indicam uma melhor qualidade paisagística, porque corresponde a área total do Valores maiores indicam uma melhor qualidade da paisagem, uma vez que corresponde a área total do habitat preservada dentro dos fragmentos (CALEGARI et al., 2010). Os fragmentos menores também cumprem funções importantes para a conservação da paisagem, uma vez que eles tem a função de ser elemento de ligação, conhecidos como *stepping stones* (trampolins ecológicos) entre áreas de maior extensão (MCGARIGAL et al., 2009).

Para a área deste estudo, o percentual da área central (CPLAND), observou-se uma tendência e pouca alteração nos valores passando de 12,06% para 12,13% entre 1985 e 2015, respectivamente (Figura 36). Este resultado indica uma igualdade na área de núcleo em toda a área de estudo, com pequenas variações durante os anos analisados (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

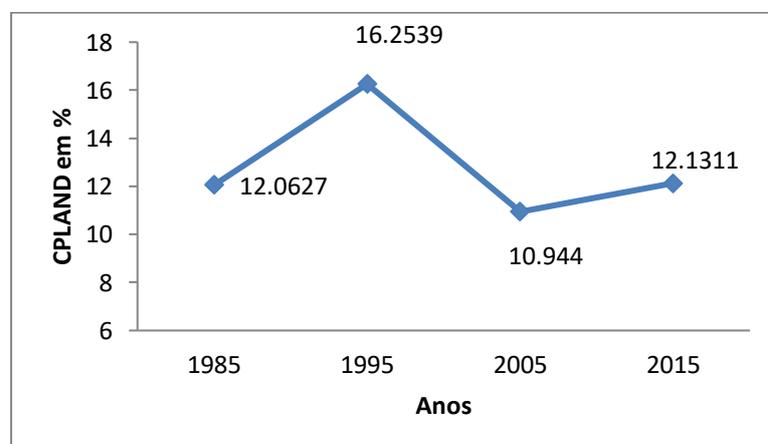


Figura 36: Variação temporal da métrica CPLAND (eixo Y em %) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.

O número de áreas do núcleo disjuntas (NDCA) aumentou de 1245 para 1288, indicando um aumento da fragmentação da vegetação natural (MCGARIGAL & MARKS, 1995). O índice de área central média (CAI_MN) representa a média, em porcentagem, do fragmento da classe que é a área central (*core area*), onde um fragmento com CAI= 0 não possui área central. Os valores estimados de CAI_MN e NDCA no presente estudo foram de 0,31 e 0,40 para 1985 e 0,40, respectivamente, resultando um aumento na porcentagem deste índice (Figura 37).

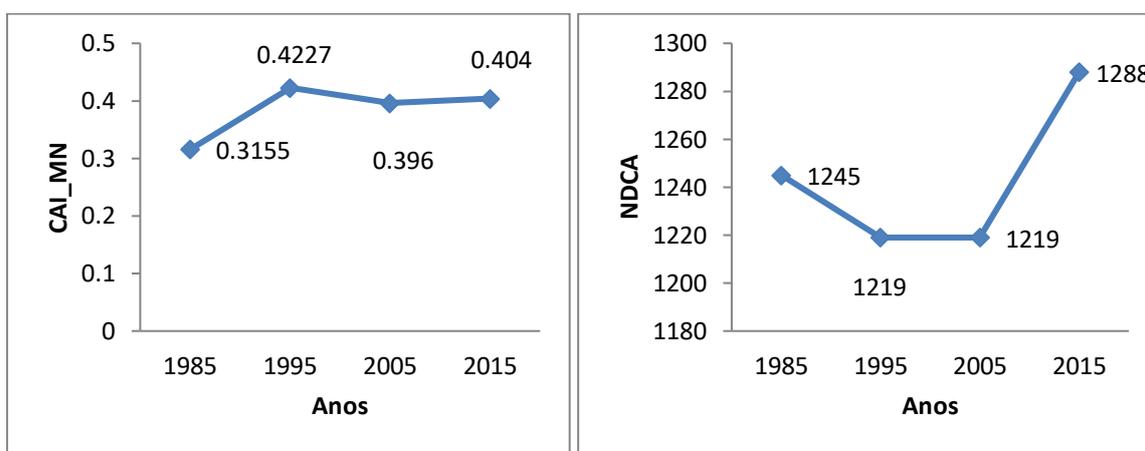


Figura 37: Variação temporal das métricas CAI_MN (eixo Y) e NDCA (eixo Y) na região da APA do Rio Descoberto entre 1985 e 2015.

Primack e Rodrigues(2006)afirmam que fragmentos com formato arredondado são os mais interessantes para a conservação da biodiversidade, uma vez que concentram a maior área de núcleo. Um fragmento de forma alongada com a mesma área de um arredondado terá uma menor área de núcleo, sendo, dessa forma, menos efetivo e interessante para a conservação da biota.

As formas dos fragmentos podem influenciar processos entre fragmentos, como a migração de pequenos mamíferos e a colonização de plantas de médio e grande porte, e pode influenciar as estratégias de fuga de certos animais. O principal aspecto da forma é a relação com o efeito de borda. Quanto mais recortado e com menos área, maior o valor deste índice(VOLOTÃO, 1998).

Os valores do índice de forma médio (SHAPE_MN) estimados neste estudo indicam que houve uma leve variação entre 1985 e 2015, variando de 1,34 a 1,28. Segundo McGarigal et al. (2002), os resultados indicam que a paisagem apresenta fragmentos de vegetação nativa de formas próximas às simples, ou seja, maiores

benéficos para a conservação, com tendências a se tornarem regulares, com valores mais próximos a 1. Os valores da dimensão fractal média (FRAC_MN) apresentaram uma leve redução, corroborando com o índice de forma médio (Figura 38).

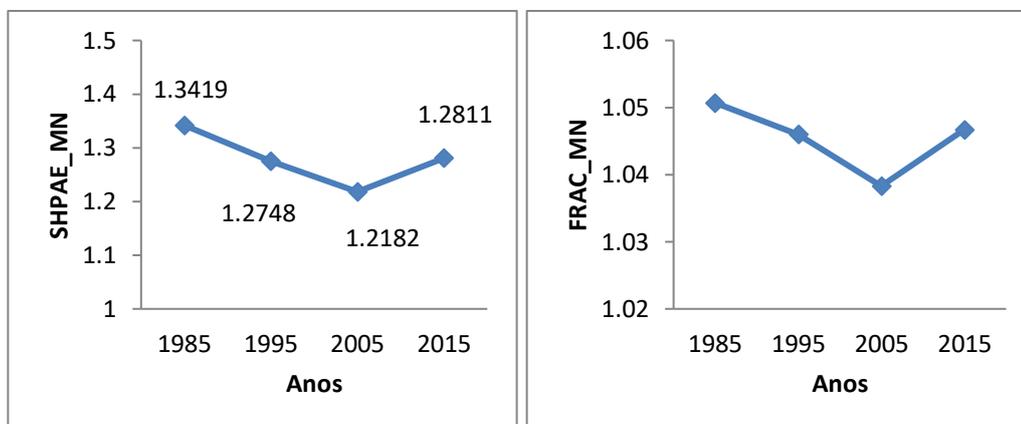


Figura 38: Variação temporal das métricas SHAPE_MN (eixo Y) e FRAC_MN (eixo Y) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.

Segundo Marques(2004), o grau de isolamento de um fragmento de floresta, é diretamente proporcional a taxa de crescimento de espécies de borda. Esse efeito de borda pode chegar a ocupar todo o remanescente, trazendo prejuízo para a conservação daquela biodiversidade local. Tais fragmentos devem ser objeto de reconexão para reduzir os prejuízos ambientais. Metzger(2001)indica que, para reconectar subpopulações isoladas em fragmentos, existem duas opções: melhorar a rede de corredores e aumentar a permeabilidade da matriz da paisagem.

O índice PROX_MN foi estimado no presente estudo usando um raio de 5 km para verificação de fragmentos vizinhos dentro deste raio. O índice considera o tamanho e a distância de todos os fragmentos que estiverem dentro do raio de alcance de determinado fragmento focal. Ou seja, quanto mais distante, menor será o valor de PROX-MN (MACGARIGAL & MARKS, 1995). Para a APA do rio Descoberto, observou-se a redução dos valores dos índices (PROX_MN), que indica o aumento do isolamento entre os fragmentos dos remanescentes de vegetação nativa (Figura 39).

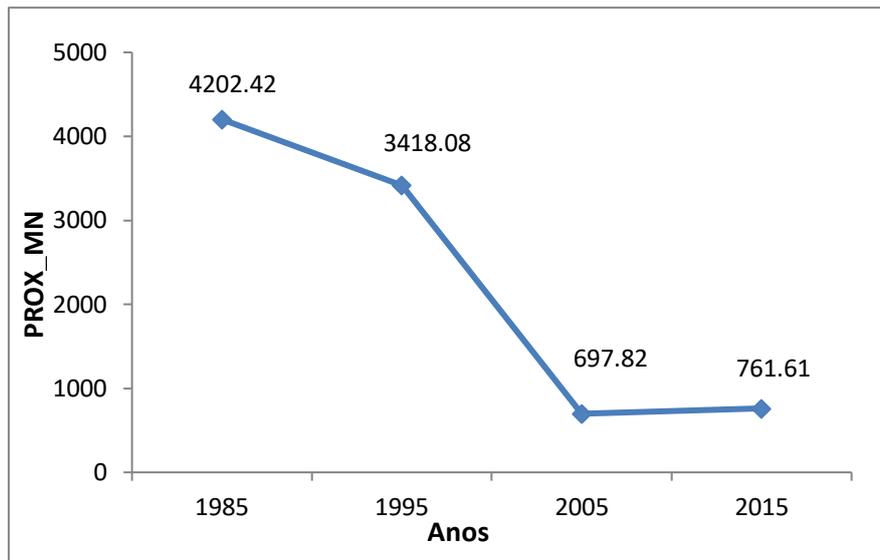


Figura 39: Variação temporal da métrica PROX_MN (eixo Y) na região da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015.

4.3.2. Fragmentação dos Remanescentes de Cerrado

As áreas de núcleo dos fragmentos naturais remanescentes em 2015 não foram afetadas pelo desmatamento (Figura 40) Observou-se que os principais fragmentos de vegetação nativa se encontram dentro de áreas de proteção, como parques estaduais e distritais localizados dentro da APA do rio Descoberto Como um todo, a região da APA do rio Descoberto apresentou uma redução na vegetação nativa desde a sua criação pelo Decreto 88.940/83 do Governo Federal, abrangendo as Regiões Administrativas de Taguatinga, Brazlândia e Ceilândia e os municípios de Águas Lindas e Padre Bernardo - GO. O objetivo da APA é de garantir maior proteção à bacia hidrográfica do rio Descoberto e à sua represa (PEREIRA, 2011).

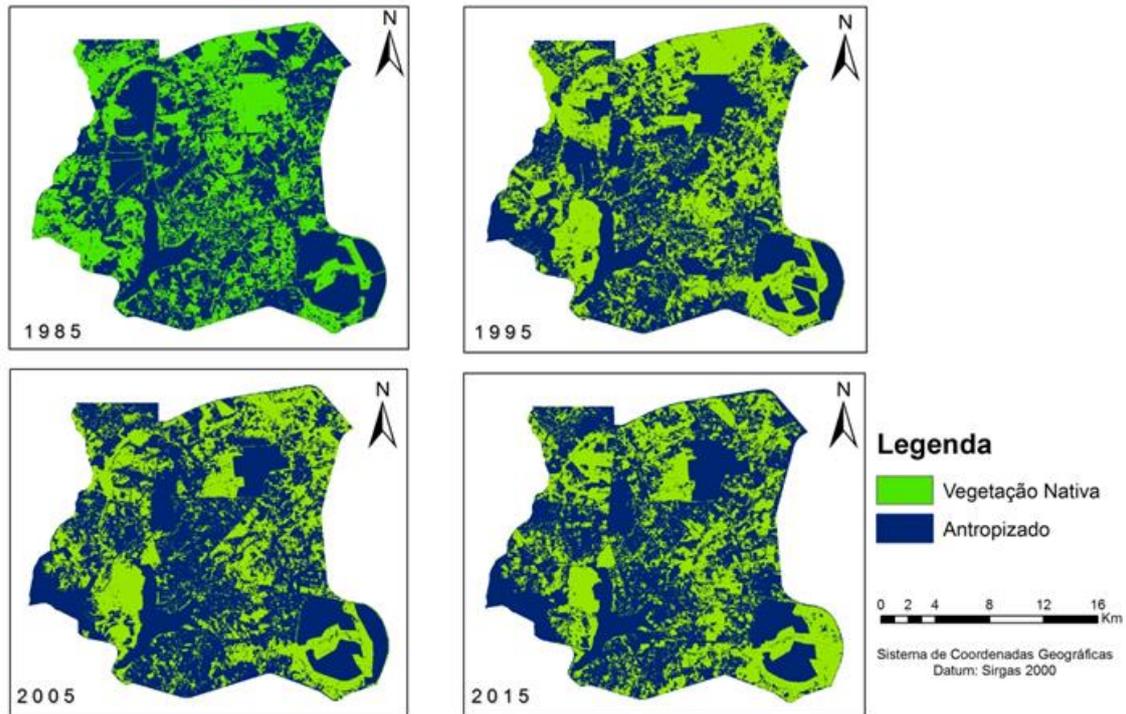


Figura 40: Mapa de Fragmentação da Paisagem na APA do rio Descoberto nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.

Os efeitos da fragmentação da paisagem têm relação direta com o desmatamento. A fragmentação intensifica o processo de perda de biodiversidade, pois torna os remanescentes florestais mais propícios à ação de agentes externos, diminuindo a efetividade deles para a conservação da biodiversidade (HADDAD et al., 2015).

A análise dos resultados de fragmentação da região da APA do rio Descoberto mostra alguns fenômenos recorrentes em regiões de grandes centros urbanos e principalmente, no DF e GO. O aumento da fragmentação está relacionado aos aumentos populacionais decorrentes da urbanização e a falta de planejamento estrutural para a ocupação do solo.

A APA do rio Descoberto teve sua ocupação consolidada após a construção da barragem do Lago do Descoberto em 1973. A construção viabilizou a formação do Lago do Descoberto, que se tornou o principal reservatório de captação de água para consumo humano da cidade de Brasília. De acordo com Nunes (2014), juntamente com o processo de urbanização de Brasília, houve uma consolidação dos usos na região da APA com uma grande expansão agrícola e urbana. Durante o período de 1994 a 2011 houve uma perda de aproximadamente 10% da área de vegetação nativa na APA do rio Descoberto, com o aumento de quase o dobro da área destinada para atividades agrícolas.

Segundo OLIVEIRA(2008), o Projeto Integrado de Colonização Alexandre de Gusmão PICAG, criado em 1962, teve como objetivo absorver cidadãos que migraram para a região Central e criar um cinturão verde nas proximidades das cidades satélites. O projeto ocupa mais da metade da área da APA Bacia do Rio Descoberto. A região tinha um objetivo de contribuir com o planejamento de habitações impedindo o crescimento urbano e destinar a área uma gestão territorial voltada ao tema central do PICAG, contribuindo assim com a conservação dos mananciais de água do lago do Descoberto para manter o cinturão verde da produção agrícola.

Na APA do Rio Descoberto, as principais mudanças do uso do solo iniciaram com a instalação de projetos de reflorestamentos com espécies exóticas realizados pela empresa PROFLORA. Esses projetos foram abandonados na década de 90 sem ter sido realizado o manejo adequado e recomposição florestal, fragmentando a vegetação nativa e dificultando a conservação da biodiversidade (OLIVEIRA, 2009).

Além da tendência do uso da terra para fins agrícolas evidenciado ao longo dos anos, a APA do rio Descoberto tem sido objeto da intensificação das atividades de uso e ocupação, como consequência do adensamento urbano no núcleo rural de Alexandre Gusmão (DF) e pelo crescimento urbano de Brazlândia (DF), Padre Bernardo (GO) e Águas Lindas (GO) (NUNES e ROIG, 2015; PEREIRA e NETTO, 2000).

De acordo com o ICMBIO (2014), a cidade de Águas Lindas foi uma das cidades que teve maior crescimento em pouco tempo. Considerando os impactos negativos desse crescimento, a intenção da gestão da APA era de que ele não se adensasse e avançasse mais sobre as áreas de vegetação nativa desta Unidade de Conservação. Destaca-se ainda que, há pouco tempo havia sido embargado um grande loteamento clandestino em Águas Lindas, sendo esta prática um grave conflito deste município.

Nóbrega (2005) em seu estudo sobre os impactos ambientais do adensamento urbano no município de Águas Lindas (GO), apontou como emergencial a elaboração do estudo de impacto ambiental de 30 loteamentos irregulares registrados na região da APA do Rio Descoberto. Tal estudo deveria compatibilização os diversos usos e a preservação dos recursos naturais locais.

A partir da década de 80, o município Padre Bernardo, começou a tomar características urbanas por conta da implantação de condomínios e parcelamentos com tais finalidades. No início da década de 90 em Padre Bernardo, haviam sido identificados 12 loteamentos e todos “havam sido autorizados pela Prefeitura

Municipal de Padre Bernardo, amparados por Decretos que definiam a Zona de Expansão Urbana do município” (ICMBIO, 2014).

Valentin (2011), utilizando-se de técnicas de geoprocessamento, analisou o processo de expansão existente entre 1980 e 2006 e simulou a taxa de transformação do ambiente natural para os anos de 2015 e 2030. Os dados analisados neste estudo corroboram com o estudo de Valentin (2008), pois foi prevista uma queda no processo de transformação da vegetação nativa para o período analisado, desde que mantida o atual padrão de gestão territorial.

Nunes (2014) também através de técnicas de geoprocessamento, analisou os conflitos do uso e ocupação do solo que possibilitou ver que cerca de 40% da APA encontra-se em conflito de uso, seja Urbano- Rural, Urbano – Conservação ou Rural – Conservação. As cidades de Ceilândia, Brazlândia e Águas Lindas são predominantemente urbanas consolidadas com uma taxa de ocupação maior que 70% (áreas impermeabilizadas).

Em destaque, o processo de transformação do território rural para urbano ocorre predominantemente nas regiões geomorfológicas mais elevadas e planas, ou seja, nas áreas de recarga dos aquíferos subterrâneos. Essa transformação pode comprometer tanto a quantidade quanto a qualidade das águas subterrâneas (NUNES; ROIG, 2015).

Devido à proximidade dos centros urbanos do reservatório que abastece grande parte da população do DF, é fundamental que haja um processo de saneamento básico adequado para a garantia da qualidade das águas, principalmente para a área de expansão de Águas Lindas de Goiás, o setor Vendinha, o Condomínio Residencial Urbano Ouro Verde e Padre Lúcio (ICMBIO, 2014).

Os principais impactos socioambientais observados nessas áreas decorrem principalmente da falta de regularização fundiária e do processo conturbado de implantação dos acampamentos, assentamentos e ocupação desordenada que acontece desde o processo de criação da APA do Rio Descoberto até os dias atuais.

Dentro da FLONA de Brasília, a área III é uma das áreas mais habitada com assentamentos consolidados desde 1996 como o Maranatha. Além dos assentamentos, tem localidades com indícios de venda irregular de terra dentro dessa região. Nos últimos anos, novos acampamentos de movimentos ligados a trabalhadores rurais foram instalados nesta região e mesmo com diversas negociações com os órgãos governamentais não houveram encaminhamentos reais para a realocação destas famílias (CAESB, 2013; ICMBIO, 2014).

Segundo Caesb (2013), a ocupação desordenada no INCRA 8, localizado dentro da APA do rio Descoberto, tem causado impactos na qualidade ambiental, como a contaminação do solo da região e área do Lago Descoberto, contrariando a legislação prevista para esta área. Medidas de contenção e mitigação foram propostas, como a instalação do sistema de esgotamento sanitário proposto para o INCRA-8, buscando o transporte e tratamento dos esgotos e a minimização da contaminação dos solos e águas superficiais subterrâneas, que são utilizadas como manancial para abastecimento da população local.

4.3.3. Disponibilidade Hídrica

A vazão média do Lago Descoberto, de acordo com os dados fluviométricos da Estação Fluviométrica do Descoberto da CAESB, para o período de 1995-2015, é de 2,9391 m³/s, variando entre 19,338 m³/s (meses de maior incidência de chuva) e 0,022 m³/s (meses de menor incidência de chuva) (Figura 41). Cunha(2007)afirmou que o fluxo fluvial é constituído pela descarga definida como o volume de água que flui em determinado ponto do canal, num período de tempo.

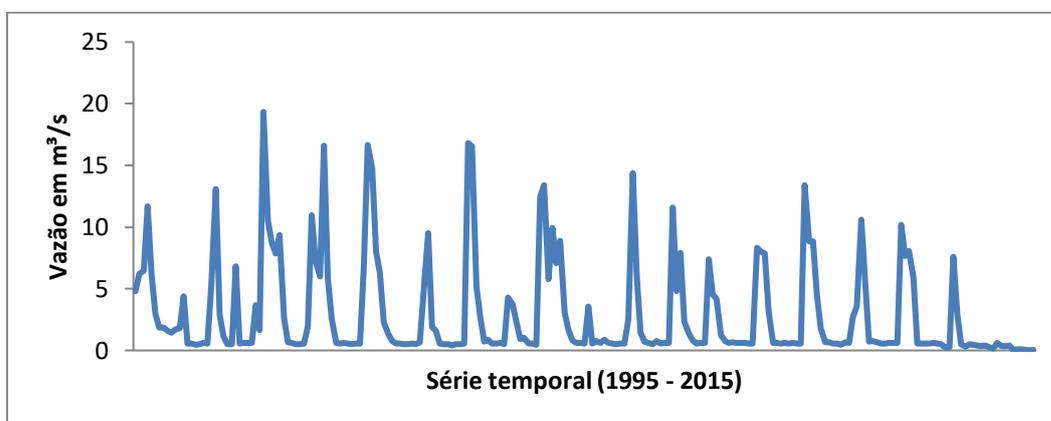


Figura 41: Variação da vazão em m³/s do rio Descoberto entre 1995 e 2015.

O comportamento anual é uniforme ao longo dos anos observados, onde o mês mais crítico de vazão, por volta de 1 m³/s acontece no mês de setembro. Já o mês que apresenta maior média de vazão, 4 m³/s, é o mês de janeiro.

Analisando os dados de vazão do Rio Descoberto, identificou-se uma tendência de decaimento dos valores de vazão observada pelo monitoramento realizado pela CAESB. De acordo com MA et al.(2008), o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica

é um processo complexo influenciado pelo clima local, características físicas da bacia e pelas atividades humanas.

O volume total de água transportado pelo canal de um curso de água é formado pelo escoamento superficial e pelo afluxo de água do subsolo, ou escoamento de base. No entanto, o escoamento superficial resultante das precipitações é considerado o componente preponderante na formação de cheias ou aumento de vazões dos cursos de água (ALENCAR et al., 2006).

A precipitação total anual da APA foi adquirida através dos dados pluviométricos da região, dados provenientes da CAESB. A média da precipitação anual, para o período de 1995-2015, é de 1471,929 mm, com a máxima de 1763,6 mm (ano de 2004) e mínima de 1134,8 mm (ano de 2003), como pode ser visto na figura 42 abaixo.

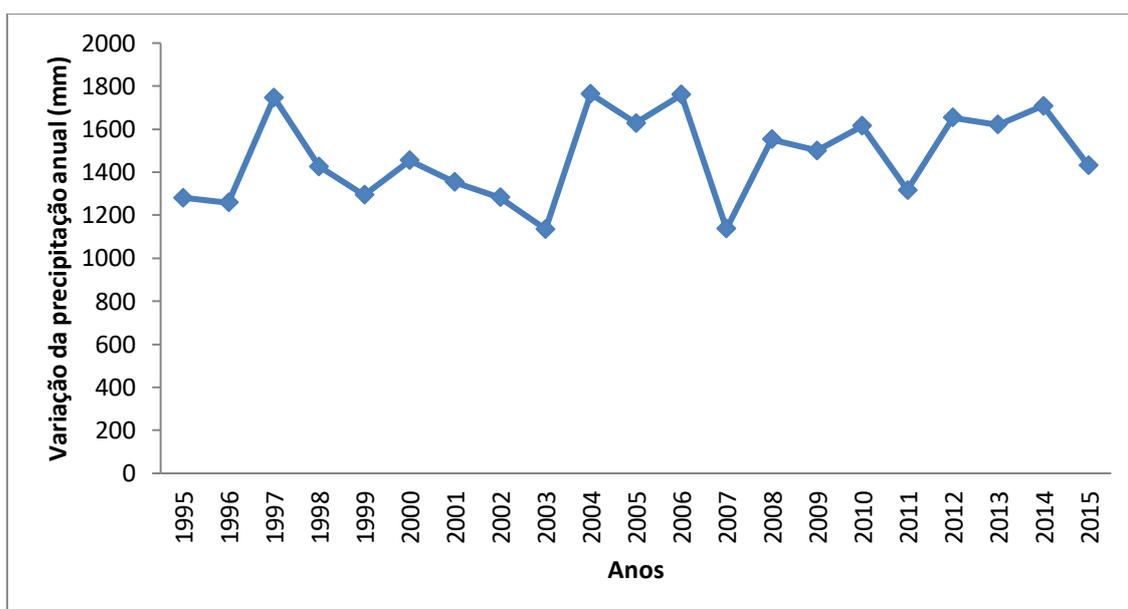


Figura 42: Variação da precipitação anual (mm) (eixo Y) entre 1995 e 2015 (eixo X) na bacia do rio Descoberto.

Outro fator analisado para a possível diminuição da vazão do Lago Descoberto foi o aspecto populacional. O abastecimento de água para a população é uma infraestrutura básica e essencial para o desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade.

O Distrito Federal é um polo atrativo de correntes migratórias e teve um grande crescimento nas décadas de 60/70 com 14,4% a.a. e nas décadas de 70/80 com 8,2% a.a. Apesar de proporcionalmente os migrantes em relação a população total serem muito

menores que nos anos 70, em 2000 Brasília ainda era um local atrativo: 19,1% de seu total populacional é de não nativos com menos de 10 anos de residência (FERREIRA NUNES; COSTA, 2007)

CAIADO (2013) afirma que o aumento da população da região entre 1970 e 2000 foi de 2.193.235 habitantes, 1.513.654 localizados no DF e 682.581 no seu entorno, sendo os últimos, 79,2% no Entorno Imediato. O crescimento regional mais atual reforçou a formação periférica no interior do DF e nos outros municípios que integram a Ride. A distribuição espacial da população apresenta concentração de habitantes na direção sudoeste, definida como de crescimento periférico.

A Lei nº 4.545 de 10 de dezembro de 1964 transformou Brazlândia na IV região administrativa do Distrito Federal. Ao ser inaugurada possuía um número menor que 1.000 moradores (CODEPLAN, 2011). Hoje a população é estimada em 57.542 habitantes (IBGE, 2010).

Fundada em 5 de junho de 1958, Taguatinga se tornou região administrativa III em 1964 pela mesma lei de Brazlândia. Eventualmente, Taguatinga passou por processos de desmembramentos e deu origem às novas regiões administrativas de Ceilândia e Samambaia no ano de 1989, depois Águas Claras em 2003 e Vicente Pires em 2009 (CODEPLAN, 2011). Estima-se que a população de Taguatinga em 2011 atingiu o número de 361.063 habitantes (IBGE, 2010).

A Lei nº 49/89 criou a RA de Ceilândia e o Decreto n.º 11.921/89 a desmembrou de Taguatinga, abrangendo Ceilândia Centro, Ceilândia Sul, Ceilândia Norte, P Sul, P Norte, Setor O, Expansão do Setor O, QNQ, QNR, Setores de Indústria e de Materiais de Construção, INCRA (área rural da região administrativa), setor Privê, e condomínios, como o Pôr do Sol e Sol Nascente, que atualmente estão em fase de legalização. A população de Ceilândia é de 402.729 habitantes (IBGE,2010).

A construção da Barragem do Descoberto em 1982 se relaciona com o surgimento de Águas Lindas de Goiás, onde foram instalados pequenos lotes localizados na região da barragem. Apesar do crescimento população apresentar uma queda em 2005, ele ainda está acima da média das cidades brasileiras. Devido aos efeitos da exploração imobiliária, a cidade cresce de forma desorganizada. O preço dos lotes era baixo para atrair a população de baixa renda que vivia em Brasília (ARIZA, 2011).

Os municípios do Goiás de Santo Antônio do Descoberto e Águas Lindas de Goiás acabam assumindo o papel similar ao das cidades-dormitório, apresentando uma

pequena dinâmica econômica marcada pela pouca diversidade das atividades comerciais e dos serviços oferecidos, sendo predominante o uso residencial. As localidades citadas apresentaram nos últimos 10 anos as maiores taxas de crescimento populacional da região, indicando que o processo de periferização dos habitantes continua alto (CAIADO, 2013).

O poder público municipal nos municípios de Goiás notou na ocupação urbana de seus territórios uma possibilidade de gerar renda e dinamizar as economias locais, autorizando a atuação livre dos empreendedores imobiliários que iniciaram uma atuação na demanda reprimida pela política de ocupação do DF, abrindo e vendendo loteamentos populares, com preços menores e condições de pagamento melhores (CAIADO, 2013).

Segundo os dados da CAESB, disponíveis pelo SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), a população total atendida com abastecimento de água no DF aumentou durante os últimos 20 anos, corroborando o aumento populacional discutido por Caiado (2013) e Nunes e Costa (2007), como pode ser visto na figura 43 abaixo.

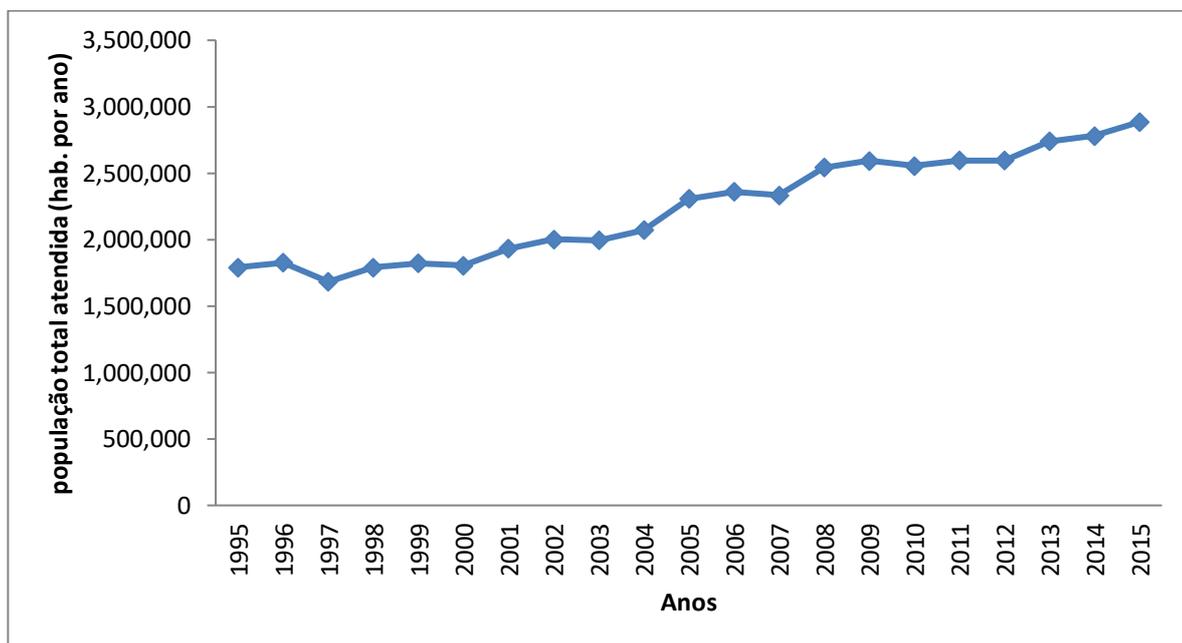


Figura 43:Variação da população total atendida (habitantes por ano) com abastecimento de água no Distrito Federal entre 1995 e 2015.

A população atendida pelo abastecimento de água no DF cresceu em média 50 mil habitantes por ano, em 1995, a população era de 1,79 milhões habitantes. Em 2015, a população chegou 2,85 milhões de habitantes. Conseqüentemente, a demanda por

água aumentando, houve uma necessidade maior em captar uma maior quantidade de água para suprir a necessidade básica da sociedade por tal recurso.

A captação de água é feita para o tratamento e abastecimento do consumo doméstico humano, um dos pontos de maior importância dentro do saneamento básico. O saneamento básico é de acordo com a Organização Mundial da Saúde um conjunto de todos os fatores do meio físico que pode gerar efeitos nocivos à saúde física, mental e social, ou seja, iniciativas sobre o meio ambiente no qual vivem as populações que visam garantir condições de salubridade e proteção à saúde das pessoas(HELLER; PÁDUA, 2006).

Os dados fornecidos pela CAESB sobre a captação média anual realizada no Rio Descoberto para o abastecimento humano entre 1995 e 2015, apresentaram um aumento expressivo, consequência do aumento populacional discutido anteriormente. A média da captação em 1995 era de 3,20 m³/s e a de 2015, era de 4,60 m³/s, que representa um aumento de 40% de captação de água realizado diretamente no reservatório (Figura 44).

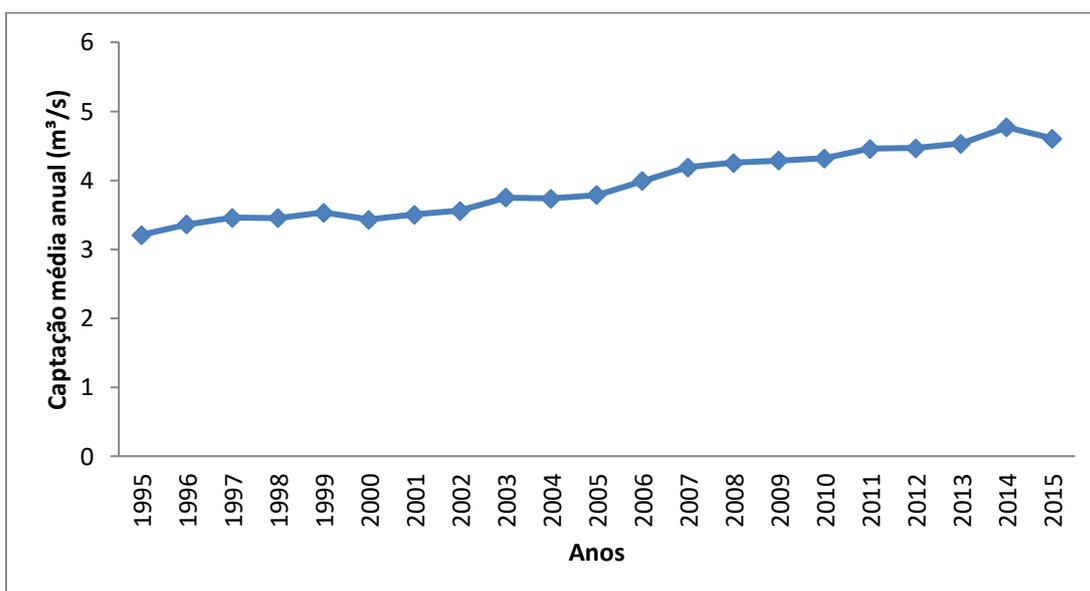


Figura 44: Variação da captação média anual (m³/s) (eixo Y) no reservatório do rio Descoberto entre 1995 e 2015 (eixo X).

Outro parâmetro analisado em relação aos aspectos populacionais foram os valores médios de consumo de água por habitante. O consumo médio per capita é uma métrica onde é possível conhecer a quantidade de água consumida por habitante numa sociedade, independentemente do tamanho da população, possibilitando comparar valores com outros estados e regiões.

O consumo médio per capita da região abastecida pela CAESB, segundo dados do SNIS, entre 1995 e 2015, apresentaram uma tendência de decaimento, ou seja, os valores têm abaixado com o passar dos anos. A média em 1995 era de 200,3 l/hab/dia, e em 2015, a média era de 153,7 l/hab/dia (Figura 45).

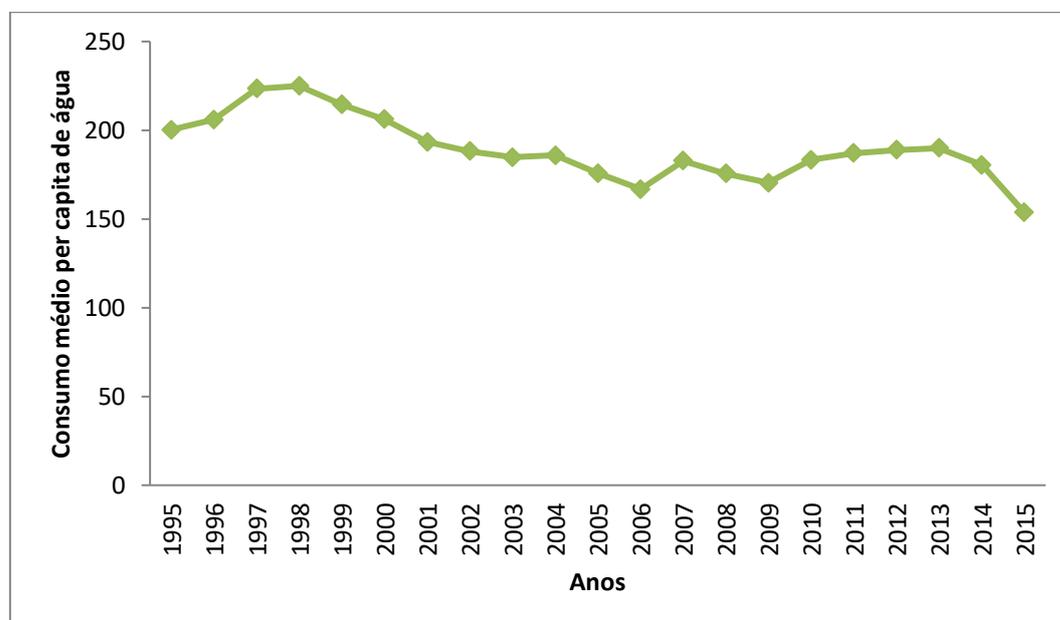


Figura 45: Variação do consumo médio per capita de água (l/hab./dia) (eixo Y) para o Distrito Federal entre 1995 e 2015 (eixo X).

A década de 80 trouxe com o avanço da tecnologia o aperfeiçoamento de ferramentas de diagnósticos de problemas ambientais e a guinada do movimento ecológico. A preocupação com a sobrevivência da espécie humana no planeta se tornou a questão central (SOUSA, 2005).

A economia de água tornou-se uma das pautas mais discutidas em reuniões e conferências mundiais a respeito de meio ambiente. A forte vertente motivou a economicidade do recurso e vem tornando a água um recurso cada vez mais instrumento de conservação ambiental.

Apesar da queda no consumo de água médio per capita nos últimos 20 anos no Distrito Federal, a média de 153,7 l/hab/dia está acima 40 l/hab/dia da média recomendada pela ONU para suprir as necessidades humanas. De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3 mil litros de água por mês (cerca de 110 litros de água por dia, para atender suas necessidades de consumo (WWF, 2014).

Outros fatores que reduzem a quantidade de água captada para abastecimento é o maior investimento em infraestrutura de distribuição para sociedade e a diminuição na perda de água em relação ao volume que entra no sistema de abastecimento. Silva (2005) apresenta que na visão operacional dos sistemas públicos de abastecimento, as perdas de água são concernentes aos volumes que não podem ser contabilizados, estas perdas podem ser: físicas (reais), que representam a parcela não consumida, e não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada.

Segundo Moraes et al (2010), As principais perdas se resultam basicamente de três origens:

- Vazamentos em diversas partes do sistema, como adutoras, redes de distribuição, ramais prediais, etc.;
- Erros de medição, devido à falta de manutenção, imprecisão ou falta de sensibilidade dos medidores a vazões muito pequenas, ou de métodos inadequados de medição;
- Fornecimento não faturado, seja por uso clandestino, seja por erro na avaliação de consumo (usuário sem medidor), etc.

De acordo com os dados o SNIS, os índices de perdas de água no Distrito Federal apresentaram um aumento nos estudados. A média inicial era de 20,27 % no ano de 1997 e, em 2015, a média chegou a 35,19 %, como pode ser visto na figura 46 abaixo.

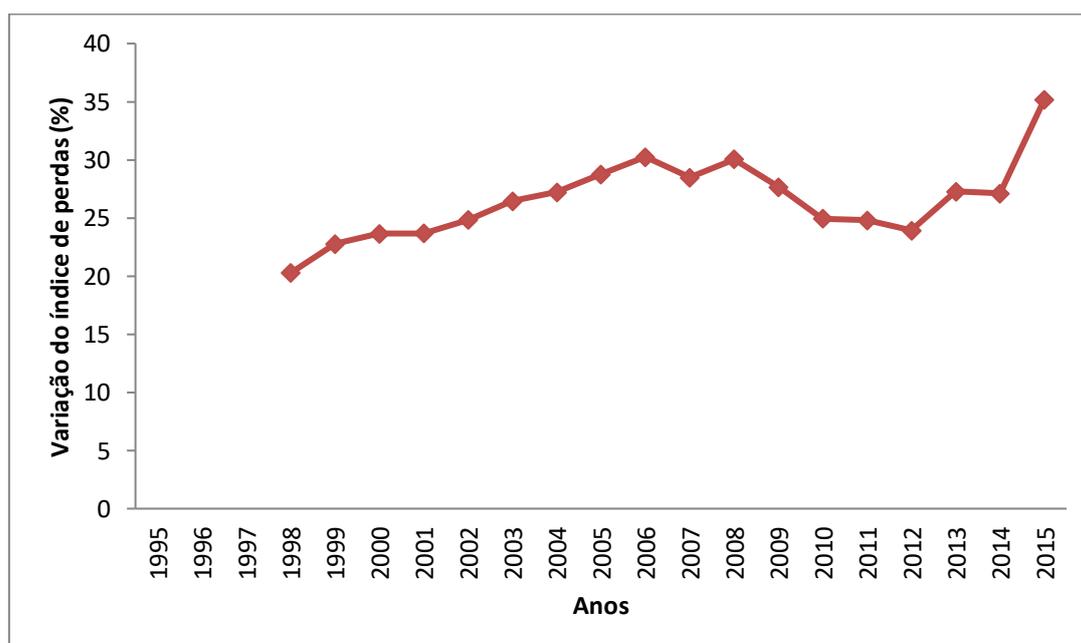


Figura 46: Variação do índice de perdas na distribuição (%) no DF entre 1995 e 2015.

De acordo com LAMBERT e HIRNER(2000), mais de 65% da água não faturada, deve-se aos consumos não autorizados, imprecisões dos hidrômetros e vazamentos na rede de distribuição. Os principais métodos de prevenção de perdas podem ser classificados como (a) método de detecção e localização de vazamentos: busca minimizar o tempo entre a ocorrência do vazamento e o seu conhecimento(MOUNCE et al., 2009); (b) método de avaliação de perdas: concentra-se em medir a quantidade de água perdida se baseiam em medições e estimativas de água produzida e consumida.(PUUST et al., 2010). (c) método de controle de vazamentos: concentra-se no monitoramento do sistema de abastecimento através, por exemplo, da vazão mínima noturna registrada (FONTANA, 2012).

Segundo MOTTA(2010), o controle das perdas de água devem se basear em ações que residem no gerenciamento de perda de controle ativo de vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos e gerenciamento da infraestrutura da rede de abastecimento local.

4.4. Conclusão

Fragmentação da paisagem:

As métricas de paisagem indicam o aumento da fragmentação da vegetação natural na área da APA do rio Descoberto entre 1985 e 2015, com a redução da qualidade das funções dos fragmentos da paisagem

Em geral, a região da APA do rio Descoberto apresentou um padrão comum de áreas de expansão entorno de grandes centros urbanos: aumento de regiões antropizadas pela urbanização e atividades agrícolas e pastagens e, conseqüentemente, a diminuição da cobertura vegetal nativa. Também foram observadas a diminuição da área de núcleo dos fragmentos, aumento da área de borda e o isolamento dos fragmentos, dificultando a efetividade da conservação da biodiversidade, com impactos diretos na produção e oferta de serviços ecossistêmicos na área de estudo.

As principais causas da fragmentação na região da APA foram as criações dos centros urbanos de Águas Lindas de Goiás, Padre Bernardo e a ampliação das regiões administrativas de Ceilândia e Brazlândia. Além disso, a região foi objeto de alterações no uso e cobertura da terra em zonais rurais com o incentivo à produção em áreas do PICAG e a criação de assentamentos e parcelamentos rurais dentro da Floresta Nacional de Brasília e em outras regiões.

A principal contribuição para maiores fragmentos de remanescentes de vegetação nativa dentro da APA do Rio Descoberto são as unidades de conservação e parques estaduais e distritais, como por exemplo o Parque Estadual do Descoberto. Portanto, é necessário a implementação de políticas de comando e controle para garantir a permanência dessas áreas para a conservação do Cerrado e contribuir com a produção de água na bacia do rio Descoberto.

É necessário também esforços para ampliar a união e formação de fragmentos maiores, devido a existência de grande quantidade de pequenos fragmentos na área de estudo. Isso poderia ser feito a partir da recomposição da vegetação nativa, incentivo aos produtores rurais em conservar a vegetação no interior de suas propriedades e a formação de corredores ecológicos, o que promoveria ainda mais o aumento das áreas centrais deixando os fragmentos menos susceptíveis aos efeitos de borda.

Recursos Hídricos:

Observou-se que a disponibilidade hídrica é afetada indiretamente pela fragmentação da paisagem na APA do rio Descoberto. O principal efeito é devido dificuldade de infiltração de águas da chuva, a redução de áreas para evapotranspiração e os assoreamentos de nascentes e corpos d'água.

Uma das principais causas para o desencadeamento da crise hídrica no DF foi o aumento populacional. O DF apresentou um crescimento de 50 mil habitantes por ano no período estudado. Isso aumentou a demanda por água para atender o consumo da população, ampliando o volume médio captado do Reservatório do Descoberto.

O consumo per capita de água da população do Distrito Federal apresentou uma redução nos últimos meses, fator importante para a economicidade do recurso. Apesar disso, a média do Distrito Federal continua sendo uma das mais altas do Brasil e permanece acima da média indica pela ONU e outras instituições internacionais.

Outro fator de grande contribuição para a redução do volume de água no reservatório estudado foi a taxa de perda de água no abastecimento. A média apresentada pela CAESB é acima da maioria dos estados brasileiros e apresentou um aumento durante os últimos anos, principalmente, entre 2010 e 2015.

Adicionalmente, recomenda-se que gestão da bacia do rio Descoberto sejam incluídos mais investimentos para conscientização da população da redução do consumo excessivo de água e as ligações clandestinas. Num futuro breve, serão necessários também investimentos em infraestrutura para diminuir as taxas de perdas no

abastecimento para o DF inteiro e buscar novas alternativas de captação de água em outros reservatórios ou até mesmo, a utilização de águas de reuso.

5 CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Um processo dinâmico e complexo que muitas vezes é potencializado por atividades humanas é a mudança de uso do solo. A melhor forma de acompanhar essas mudanças é por meio da utilização de produtos temporais de sensoriamento remoto que fornecem dados importantes a respeito das características ambientais.

A mudança de uso da terra afeta diretamente a erosão do solo. Dessa forma, a modelagem da mudança de uso da terra é fundamental em relação à previsão de erosão e degradação do solo, um instrumento que se torna extremamente eficiente para o planejamento urbano-rural. As taxas da perda de solo em grandes escalas não é algo financeiramente viável, logo as abordagens de modelagem de erosão são usadas para fazer esse tipo de avaliação. A avaliação da perda de solo consegue ajudar a quantificar os impactos da perda de solo em grande escala, avaliando os principais efeitos do clima entre outros.

As principais causas de preocupação com o meio ambiente são o processo de desordenamento territorial e o uso intensivo dos recursos naturais. Quando se deseja planejar o crescimento territorial, é preciso investir em ferramentas e estudos que estejam relacionados ao conhecimento das características ambientais que permitem conhecer a composição básica da paisagem e aspectos da fauna e flora de uma região.

Estudos feitos revelam que os corpos hídricos são afetados de maneira direta por regiões que estão em processo de ocupação adjacentes. Dessa forma, o padrão de paisagem, que inclui a composição e configuração espacial, está diretamente relacionada com a qualidade e a disponibilidade da água (Yang, 2012; Shen et al., 2015).

As mudanças climáticas e as alterações no funcionamento global do clima são fenômenos globais que contribuem as crises hídricas. Ações humanas intensivas como o desmatamento, urbanização, usos do solo, construções de infraestrutura (canais, represas, rodovias) com efeitos sinérgicos que afetam milhões de pessoas também contribuem para as crises hídricas.

Dessa forma, o levantamento de uso e cobertura do solo, da avaliação dos processos erosivos, a análise fragmentação da região e os agentes de interferência na disponibilidade hídrica, serviram de subsídios para entender melhor a dinâmica da região APA do Rio Descoberto, os principais desafios para a conservação da vegetação

e principalmente, planejamento dos recursos hídricos da região que são essenciais para o abastecimento de água do Distrito Federal.

5.2. REVISANDO AS QUESTÕES DE PESQUISA

- *Qual a dinâmica de uso e cobertura da terra entre 2011 e 2014 (anos anteriores ao início da crise hídrica)?*

Entre os anos estudados e os anos anteriores a crise hídrica no Distrito Federal não houveram variações dos diferentes usos e coberturas da terra na área de estudo. Na APA do Rio Descoberto a vegetação nativa permaneceu nos períodos estudados, o que demonstra que a conservação dessas áreas vem sendo efetiva. Apesar disso foram observadas em algumas regiões rurais a presença de parcelamentos irregulares de terra, um problema de grande impacto socioambiental, algo comum em regiões do DF e Entorno, por conta do desordenamento territorial e da falta de planejamento.

Nos dois anos em que a região foi estudada, ela apresentou focos de incêndios e principalmente em áreas de vegetação nativa e áreas rurais. A região da APA do Rio Descoberto apresentou uma consolidação urbana por 3 centros urbanos a presença de propriedades rurais de pequeno e médio porte em grande quantidade.

- *Quais os impactos sobre o solo no ano de 2014 e os fatores que mais contribuíram com o tal estado?*

A APA do Rio Descoberto apresenta grande extensão de áreas avaliadas com baixo potencial erosivo. A taxa média é de 3 ton/ha/ano no estudo realizado. Os fatores que geram esse valor são o relevo da APA com baixa declividade média, a extensa região com cobertura vegetal que dificulta o processo erosivo e a baixa presença de solos de alto grau de erodibilidade.

Assim como os processos erosivos calculados através da EUPS, o mapeamento de voçorocas e ravinas seguiu a mesma tendência e mostrando uma grande interferência por conta do relevo, do uso do solo e do tipo de solo do local. O Solo Exposto foi o tipo de classe de uso com maior presença desses processos erosivos. Essa classe se caracteriza pelo solo sem cobertura vegetal e contribui com a lixiviação de nutrientes, com o aumento de fluxo superficial e também com o aumento da taxa de erosão. Considerando isso, para minimizar os prejuízos e danos ambientais por meio de erosão é fundamental o processo de recuperação de áreas degradadas ou regiões de solo exposto.

- Como se deu o processo de fragmentação da vegetação na região da APA do Rio Descoberto?

Em 2015 as métricas de paisagem apresentaram resultados de alto grau de fragmentação da vegetação natural para a área da APA do Rio Descoberto. Constatou-se também que houve uma piora na qualidade dos fragmentos da paisagem de 1985 e 2015 na área de estudo quando foram comparadas as métricas estudadas.

Foi apresentado um padrão comum de áreas de expansão entorno de grandes centros urbanos na região da APA do Rio Descoberto: aumento de regiões antropizadas, e diminuição da cobertura vegetal nativa. A diminuição da área de núcleo dos fragmentos, o aumento da área de borda e o isolamento de fragmentos, foram questões também observadas. Tudo isso dificulta a efetividade da conservação da biodiversidade e também prejudica os serviços ecossistêmicos na área de estudo.

As criações dos centros urbanos de Águas Lindas do Goiás, Padre Bernardo e a ampliação das regiões administrativas de Ceilândia e Brazlândia foram as principais causas da fragmentação na região da APA. Já a principal contribuição para os maiores fragmentos de remanescentes de vegetação nativa dentro da APA do Rio Descoberto são as unidades de conservação e parques estaduais e distritais, como por exemplo Parque Estadual do Descoberto.

-Quais os possíveis fatores que contribuíram para a redução da quantidade de água disponível no DF?

A disponibilidade de água é afetada indiretamente pela fragmentação da paisagem por conta da dificuldade que as águas da chuva têm de infiltração, da redução de áreas para evapotranspiração e assoreamentos de nascentes e corpos de água. A crise hídrica do DF teve como uma das principais causas o aumento populacional. O crescimento populacional do DF foi de 50 mil hab. por ano no período de estudo e a necessidade de água demandada por uma população desse tamanho contribuiu para o aumento da captação realizada no Reservatório do Descoberto. O consumo per capital de água da população do DF apresentou uma queda, fator importante para a economia de água, porém, mesmo com a redução, o Distrito Federal ainda apresenta uma das médias mais altas do Brasil e continua acima da médica recomendada por instituições internacionais como a ONU.

A taxa de perda de água no abastecimento foi outro grande fator que contribuiu para a redução do volume de água no reservatório estudado. A média apresentada pela

CAESB é maior do que a exibida por boa parte dos estados brasileiros. Entre os anos de 2010 e 2015 o DF ainda apresentou um aumento no valor dessa taxa.

5.3. OPORTUNIDADES DE ESTUDOS FUTUROS

Sugere-se uma investigação mais detalhada da relação dos fatores disponibilidade hídrica apresentados com a redução da vazão do reservatório do Rio descoberto. A relação da fragmentação com a diminuição da vazão hídrica pode ser investigada mais a fundo, buscando compreender o processo de recarga e delimitar as áreas prioritárias para auxiliar a infiltração da água no solo, voltando para o sistema hídrico.

Estudos de qualidade de água na região podem demonstrar uma relação direta com os processos erosivos, já que os sedimentos erodidos seguem o fluxo de escoamento em direção aos corpos hídricos. Assim, estudos de campo sobre a quantidade e qualidade de água são importantes, de forma a preencher lacunas científicas que busquem identificar estratégias voltadas para a sustentabilidade dos recursos naturais e desenvolver estudos de planejamento territorial em níveis locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, E. et al. Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 10, p. 3440–3458, 2014.
- ADASA. (2012). **Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH - Volume II - Prognóstico**. Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, Brasília - DF.
- ALENCAR, D. B. S.; DA SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. DA S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 103–112, 2006.
- ALMEIDA, C. O. S. **Erosividade das chuvas no Estado de Mato Grosso**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília.
- ALPHAN, H. Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 1, p. 24, 2017.
- ALVES AMARAL CHAVES, A. et al. Uso das terras da parte norte da bacia do Rio Descoberto, Distrito Federal, Brasil. **Bragantia**, v. 69, n. 3, 2010.
- AMERICA, S. S. S. OF. **Glossary of soil science terms**. ASA-CSSA-SSSA, 2008.
- APARECIDA LELIS, T.; CALIJURI, M. L. Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT. **Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 5, n. 2, 2010.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos**. v. 2013. Brasil. 2013. Acesso em ago. de 2017. Disponível em http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html.
- ARRAIS, T. A., SALGADO, T. R., LIMA, L. O., PINTO, J. V. C. Impactos territoriais dos programas estaduais de intervenção regional no Centro-Oeste: NE e N goiano e entorno do Distrito Federal. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, 9(18), 39-52. 2010.
- ARIZA, C. G. Qualidade ambiental em Águas Lindas de Goiás e a gestão dos recursos

hídricos. 2011.

ASSUNÇÃO, S. L.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado sensu stricto na APA do Paranoá, DF, Brasil. 2004.

BASUKALA, A. K. et al. Towards improved land use mapping of irrigated croplands: performance assessment of different image classification algorithms and approaches. **European Journal of Remote Sensing**, v. 50, n. 1, p. 187–201, 2017.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal. MMA, 1997.

BENDA, L. et al. NetMap: a new tool in support of watershed science and resource management. **Forest Science**, v. 53, n. 2, p. 206–219, 2007.

BERA, A. Estimation of soil loss by USLE model using GIS and remote sensing techniques: a case study of Muhuri River Basin, Tripura, India. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 6, n. 3, p. 206, 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 7. Editora Ícone. São Paulo, 2008.

BESKOW, S. et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49–59, 2009.

BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio descoberto**. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, UnB, 2006.

BLOISE, G. DE L. F. et al. Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria-DF. 2001.

BORGES, K. M. R. et al. Vulnerabilidade natural: a perda de solo da bacia do rio Carinhanha (MG/BA) usando uma abordagem qualitativa da equação universal de perda de solos. **GEOgraphia**, v. 14, n. 27, p. 101–125, 2013.

BRASIL. **Decreto Nº. 88.940, de 07 de Novembro de 1983**. IBAMA. Brasília, 1983

BRASIL, Lei nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial**, 1997.

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. 1986.

CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Plano de Controle Ambiental (PCA) para o Sistema de Esgotamento Sanitário do INCRA 8 - Brazlândia /– Brasília-DF.

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. s/da. A APA do Descoberto e o Termo de Cooperação. Disponível em: <http://www.caesb.df.gov.br/index.php/empresa/a-caesb/11-portal/caesb-ambiental.html>. Acesso em: 04 fev. 2017

CAIADO, M. C. S. Estruturação intra-urbana na região do Distrito Federal e entorno: a mobilidade e a segregação socioespacial da população. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 22, n. 1, p. 55–88, 2013.

CALEGARI, L. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, 2010.

CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 41–48, 2016.

CANDEIAS, A. L. B. et al. **Base de Dados para SIG ambiental**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário-Florianópolis, SC, Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina. **Anais**.1998

CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C. Geoquímica das águas da bacia hidrográfica do rio Descoberto, Brasília/DF-Brasil. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 565, 2005.

CARVALHO, P. **Ordenamento territorial e desenvolvimento**Coimbra: Coimbra University Press, , 2012.

CASSOL, E. A.; DE LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 117–124, 2003.

CATTANI, C. E. V. et al. Desempenho de algoritmos de classificação supervisionada para imagens dos satélites RapidEye. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de**

Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

CEBECAUER, T.; HOFIERKA, J. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. **Geomorphology**, v. 98, n. 3, p. 187–198, 2008.

CHAVES, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, 2010.

CHEN, W. et al. Landslide spatial modeling: introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning techniques. **Geoderma**, v. 305, p. 314–327, 2017.

CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal. **Brasília: CODEPLAN**, v. 1, 1984.

CODEPLAN. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Pesquisa Distrital de Amostra por Domicílio – PDAD 2010/2011. Brasília, fevereiro de 2011c. 54 e 55 p.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, n. 1, 2014.

COJOCARU, O. Soil erosion and its effects from the region of the negrea village. 2016.

CONFORTI, M. et al. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). **Natural hazards**, v. 56, n. 3, p. 881–898, 2011.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. CRC press, 2008.

CONSEJO, D. E. D. H. **Los derechos humanos y el acceso al agua potable y el saneamiento. Documento de Naciones Unidas A. HRC/15/L. 14**, 2010.

CÔRTEZ, P. L. et al. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 7–26, 2015.

COSTA, R. A.; NISHIYAMA, L. Zoneamento ambiental das áreas urbana e de expansão urbana de Caldas Novas (GO): uma contribuição metodológica. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 25, 2012.

COUTO P. Análise fatorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. *Investigação Operacional*, v. 24, n. 1 p. 109-137, 2004.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. D., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial (p. 124). São José dos Campos, **INPE**. 2001.

CUNHA, B. L. et al. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 5, 2012.

CUNHA, S. Geomorfologia fluvial. **GEOgraphia**, v. 9, n. 18, 2007.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. [s.l.] USP-ESALQ, 1990.

DÉSTRO, G. F. G. Diagnóstico físico-conservacionista no estudo dos conflitos de uso da terra em microbacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, 2010.

DÉSTRO, G. F. G.; CAMPOS, S. SIG-SPRING na caracterização do uso dos solos a partir de imagens do satélite CBERS. **Energia na Agricultura**, v. 21, n. 4, p. 28–35, 2006.

DIAS, R.; OLIVEIRA, R. C. Caracterização socioeconômica e mapeamento do uso e ocupação da terra do litoral sul do Estado de São Paulo. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 1, 2015.

ELIASSON, J. The Rising Pressure of Global Water shortages. **Nature**, v. 517, n. 7532, p. 6, 2015.

FAO. Organização de Agricultura e Alimentos das Nações Unidas. **La erosion del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Roma. 1967. 207p.

FARIA, K. M. S.; DE CASTRO, S. S. Uso da terra e sua relação com os remanescentes de cerrado na alta bacia do rio Araguaia (GO, MT e MS). **Geografia**, v. 32, n. 3, p. 657–668, 2008.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

FERNANDES NETO, M. DE L. et al. Avaliação da relevância dos parâmetros intervenientes no consumo per capita de água para municípios de Minas Gerais. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 9, n. 2, p. 100–107, 2004.

FERREIRA, C. S.; LACERDA, M. P. C.; NORTE, C. U. D. R. A. Adequação agrícola do uso e ocupação das terras na Bacia do Rio São Bartolomeu, Distrito Federal. **Simpósio Brasília de Sensoriamento Remoto, XIV**, p. 183–189, 2009.

FERREIRA, R. R. M. et al. Origem e evolução de voçorocas em cambissolos da bacia Alto Rio Grande, Minas Gerais. **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais**. 2007

FERREIRA NUNES, B.; COSTA, A. Distrito Federal e Brasília: dinâmica urbana, violência e heterogeneidade social. **Cadernos Metr pole**, n. 17, 2007.

FERRO, V. Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. **Biosystems Engineering**, v. 106, n. 2, p. 216–220, 2010.

FIGUEIREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Brasília-DF**, 2005.

FONSECA, F. O. **Olhares sobre o lago Paranoá**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília, 2001.

FONTANA, M. E. Modelo de setoriza o para manobra em rede de distribui o de água baseado nas características das unidades consumidoras. 2012.

FOSTER, G. R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 355–359, 1981.

FROTA, P. V. Processo erosivo e a retirada da vegeta o na bacia hidrográfica do açude or s - CE. **Revista geonorte**, v. 3, n. 6, p. 1472–1481, 2012.

GALDINO, S. Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for Conservationist

Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 3, p. 773–784, 2016.

GDF. **Decreto nº 37.976, de 24 de janeiro de 2017**. Governo do Distrito Federal. Brasília, 2017

GESSESSE, B.; BEWKET, W.; BRÄUNING, A. Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 7, p. 711–724, 2015.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. DO C. O. Geomorfologia do cotidiano - A degradação dos solos. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 7, p. 116–135, 2012.

HADDAD, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. e1500052, 2015.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, 2006.

HORNING, N. **Remote sensing for ecology and conservation: a handbook of techniques**. Oxford University Press, 2010.

HOYOS, N. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. **Catena**, v. 63, n. 1, p. 85–108, 2005.

IBGE, **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em www.censo2010.ibge.gov.br. Acesso em jun. de 2017.

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo APA Bacia do Rio Descoberto**. 2014.

KIBRET, K. S.; MAROHN, C.; CADISCH, G. Assessment of land use and land cover change in South Central Ethiopia during four decades based on integrated analysis of multi-temporal images and geospatial vector data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 3, p. 1–19, 2016.

KRISCHKE, M.; NIEMEYER, W.; SCHERER, S. RapidEye satellite based geo-information system. **Acta Astronautica**, v. 46, n. 2, p. 307–312, 2000.

KUMAR, S.; KUSHWAHA, S. P. S. Modelling soil erosion risk based on RUSLE-3D

using GIS in a Shivalik sub-watershed. **Journal of earth system science**, v. 122, n. 2, p. 389–398, 2013.

LAMBERT, A.; HIRNER, W. Losses from Water Supply Systems: A standard Terminology and Recommended Performance Measures. **IWA**, 2000.

LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. São Paulo, **Oficina de Texto**, 2009. 424p

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. 2009.

LEH, M.; BAJWA, S.; CHAUBEY, I. IMPACT of land use change on erosion risk: AN integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology. **Land Degradation and Development**, v. 24, n. 5, p. 409–421, 2013.

LEITÃO, A. B. et al. **Measurin** . Island press, 2012.

LIMA, R. N. S.; ROCHA, C. H. B. Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora – MG em 1987 e 2008. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 2067-2074.

LUFFMAN, I. E.; NANDI, A.; SPIEGEL, T. Gully morphology, hillslope erosion, and precipitation characteristics in the Appalachian Valley and Ridge province, southeastern USA. **Catena**, v. 133, p. 221–232, 2015.

MA, Z. et al. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. **Journal of Hydrology**, v. 352, n. 3, p. 239–249, 2008.

MACHADO, R. L. et al. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008.

MANCINO, G. et al. In-between forest expansion and cropland decline: A revised USLE model for soil erosion risk under land-use change in a Mediterranean region.

Ecological Indicators, v. 71, p. 544–550, 2016.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1335–1340, 2008.

MARQUES, A. J. Mapeamento de fragmentos de mata no município de Maringá, PR: uma abordagem da ecologia da paisagem. 2004.

MARTINS, É. DE S. et al. Evolução geomorfológica do Distrito Federal. 2004.

MATA, C. L. et al. 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, 2007.

MATHIEU, C.; LOZET, J. **Dictionnaire encyclopédique de science du sol: avec index anglais-français**. Lavoisier, 2011.

MCGARIGAL, K. et al. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. 2002.

MCGARIGAL, K. Fragstats: Fragstats help-versão 4.2. **Computer software program produced by the author at the University of Massachusetts. Massachusetts: Amherst**, 2013.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. **Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station**, 1995.

MCGARIGAL, K.; TAGIL, S.; CUSHMAN, S. A. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. **Landscape ecology**, v. 24, n. 3, p. 433–450, 2009.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537–545, 2007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Embrapa Cerrados-Livros técnicos (INFOTECA-E)**, 2012.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n. 3, p. 445–463, 1999.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagem? v. 1, n1/2. **Biota Neotropica, Campinas, São Paulo, v1, n1/2**, 2001.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Use of spatial representation to calculate the topographic factor in the revised universal soil loss equation in watersheds. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1455–1462, 2010.

MITASOVA, H. et al. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 10, n. 5, p. 629–641, 1996.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **GeoCatálogo de imagens RapidEye**. www.geocatalogo.mma.gov.br Acesso em jul. 2017.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Modelling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the ASAE**, v. 29, n. 6, p. 1624–1630, 1986.

MOORE, I. D.; WILSON, J. P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. **Journal of soil and water conservation**, v. 47, n. 5, p. 423–428, 1992.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. DE. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 15–32, 2010.

MOREIRA, M. C. et al. NetErosividade MG: rainfall erosivity for Minas Gerais state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1349–1353, 2008.

MOTTA, R. G. DA. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. Universidade de São Paulo, SP, 2010.

MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B.; MACHELL, J. Development and verification of an online artificial intelligence system for detection of bursts and other abnormal flows. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, n. 3, p. 309–318, 2009.

MYERS, N. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

NASCIMENTO, M. DE J. L.; DE DEUS, R. J. A.; LEITE, J. C. Geomorphology Urban

Platform for Media Sig: Monitoring Process Erosive Accelerated (Gully) Cemetery in Archaeological Indigenous Manaus. **CEP**, v. 69005, p. 80, 2016.

NASCIMENTO SILVA, L. C.; LUCHIARI, A. Cálculo do fator topográfico da equação universal de perdas de solo na bacia do córrego baguaçu, araçatuba - SP. **VI Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales**, São Paulo. 2014.

NEKHAY, O.; ARRIAZA, M.; BOERBOOM, L. Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS: A case study from Spanish mountain olive plantations. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 10, p. 3091–3104, 2009.

NEVES, C. B.; BORGES, R. O.; CASTRO, S. S. Análise das relações entre solos, relevo e a legislação ambiental para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente: o exemplo da alta bacia do ribeirão João Leite, Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, 2009.

NÓBREGA, M. DAS D. S. **Conflitos ambiental e fundiário de Águas Lindas de Goiás na divisa com o Distrito Federal**. Brasília–DF, 2005.

NUNES, A. N.; DE ALMEIDA, A. C.; COELHO, C. O. A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. **Applied Geography**, v. 31, n. 2, p. 687–699, 2011.

NUNES, J. F. O modelo LUCIS e o planejamento territorial da bacia do Alto Rio Descoberto. **Dissertação (Mestrado)** - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2014.

NUNES, J. F.; ROIG, H. L. Análise e mapeamento do uso e ocupação do solo da Bacia do Alto do Descoberto, DF/GO, por meio de classificação automática baseada em regras e lógica nebulosa. **Revista árvore**, v. 39, n. 1, 2015.

OKI, T. ; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313, n. 5790, p. 1068–1072, 2006.

OLIVEIRA, C. E. Floresta Nacional de Brasília – Uso e Preservação. Departamento de Geografia do Instituto de Humanas da Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

OLIVEIRA, B. E. N. DE. Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal (DF): ênfase nas voçorocas. **Dissertação**

(Mestrado) - Departamento de Engenharia Florestal , UnB. Brasília, 2012.

OLIVEIRA, J. P. B. et al. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, 2015.

OLIVEIRA, V. M. B. DE. O papel da educação ambiental na gestão dos recursos hídricos: caso da Bacia do Lago Descoberto/DF. **Dissertação (Mestrado em Geografia)**-Universidade de Brasília, Brasília, 2008. 2008.

OLIVEIRA P. B, A. G; BARROS, M. G. S; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, 2008.

PANAGOS, P. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 438–447, 2015.

PANG, A. et al. Land use/cover change in response to driving forces of Zoige County, China. **Procedia Environmental Sciences**, v. 2, p. 1074–1082, 2010.

PEREIRA, A. K. Fragmentação, poder de veto e accountability na gestão ambiental: o caso do Distrito Federal. **Dissertação (Mestrado em Ciência Política)**-Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

PEREIRA, P. R. G.; NETTO, O. DE M. C. Suporte metodológico para outorga do uso de água: uma proposta para a bacia do lago descoberto (Goiás/DF). **I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. Brasília**, 2000.

PINTO, R. M. C.; HAVENS, K. **Gestão de Recursos Hídricos em Tempos de Crise**. Artmed Editora, 2016.

PIROVANI, B; D. et al. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, 2014.

PORTO, M. **Gestão de bacias hidrográficas. estudos avançados**. São Paulo, 2008.

POURGHASEMI, H. R.; MOHAMMADY, M.; PRADHAN, B. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. **Catena**, v. 97, p. 71–84, 2012.

- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. *Biologia da conservação*. **Editora Planta**. 2006.
- PUUST, R. et al. A review of methods for leakage management in pipe networks. **Urban Water Journal**, v. 7, n. 1, p. 25–45, 2010.
- QUINTON, J. N. et al. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 5, p. 311–314, 2010.
- RAHMATI, O. et al. Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison. **Natural Hazards**, v. 82, n. 2, p. 1231–1258, 2016.
- RANIERI, S. B. L.; SOUZA, M. P. DE; SPAROVEK, G. Cálculo de comprimento de rampa para bacias hidrográficas através do software IDRISI. **SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI**, v. 1, p. 17–19, 1996.
- RAPIDEYE, **Satellite imagery product specifications**. Disponível em: www.rapideye.com . Acesso em ago. 2017.
- REATTO, A. et al. Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do Rio Descoberto, DF/GO, escala 1: 100.000. **Embrapa Cerrados-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2003.
- REATTO, A. et al. Relação entre as classes de solos e as principais fitofisionomias do Alto Curso do Rio Descoberto, Distrito Federal e Goiás. **Embrapa Cerrados-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2003.
- RENARD, K. G. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. 1997.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado in: SANO, S.M; ALMEIDA, S.P; RIBEIRO, J.F. *Cerrado: Ecologia e flora*. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 2008.
- SANCHEZ, R. O.; SILVA, T. C. DA. Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. In: **Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem**. IBGE, 1995.

- SANTOS, P. L., FERREIRA, R. A., ARAGÃO, A. G., AMARAL, L. A., OLIVEIRA, A. S. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, 36(2), 237-245. 2010.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; DE OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 2, 2010.
- SERPA, D. et al. Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. **Science of the Total Environment**, v. 538, p. 64–77, 2015.
- SHEN, Z. et al. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 417–427, 2015.
- SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. **Journal of Sustainable Development in Africa**, v. 13, n. 3, p. 87–106, 2011.
- SHIT, P. K. et al. Modeling of potential gully erosion hazard using geo-spatial technology at Garbheta block, West Bengal in India. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 1, n. 1–2, p. 2, 2015.
- SILVA, L. R.; SANO, E. E. Análise das imagens do satélite Rapideye para discriminação da cobertura vegetal do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, 2016.
- SILVA, F. J. A. Perda de água em sistemas públicos de abastecimento no Ceará. **Revista Tecnologia**, v. 26, n. 1, 2005.
- SILVA DE OLIVEIRA MOTA, L. H. DA; SOUZA VALLADARES, G. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência agrônômica**, v. 42, n. 1, 2011.
- SLAVIERO, L. B. Estrutura, configuração e fragmentação da Paisagem na região Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Congresso de Ecologia do Brasil**. 2007
- SOUSA, A. C. A evolução da política ambiental no Brasil do século XX. **Achegas**.

net,(26), São Paulo, 2005.

SOUZA, R. M.; DOS SANTOS, I.; KOBIYAMA, M. O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**.2009.

SOUZA, G. M. DE; MATRICARDI, E. A. T. Análise comparativa dos modelos de elevação SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA para estimar o fator topográfico (LS) da USLE. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil**, v. 13,2013.

SPERA, S. T; REATTO, A; MARTINS, E. S; CARDOSO, E. A. Aptidão agrícola das terras da Bacia do alto curso do Rio Descoberto, DF/GO, escala 1: 100.000.**Embrapa Cerrados-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2003.

SPIEKERMANN, R.; BRANDT, M.; SAMIMI, C. Woody vegetation and land cover changes in the Sahel of Mali (1967–2011). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 113–121, 2015.

SPRÖL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 15, p. 39–49, 2006.

STAVI, I. et al. Livestock grazing impact on soil wettability and erosion risk in post-fire agricultural lands. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 1203–1208, 2016.

STEIN, D. P. et al. Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, v. 4, p. 105–135, 1987.

STEIN, D. P.; PONÇANO, W. L.; SAAD, A. R. Erosão na bacia do Rio Santo Anastácio, Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 143–162, 2003.

TEDESCO, A.; BUFFARA ANTUNES, A. F.; OLIANI, L. O. Detecção de formação erosiva (voçoroca) por meio de classificação hierárquica e por árvore de decisão.**Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 4, 2014.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**.John Wiley & Sons, 1994.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 7–16, 2008.

TYC, G. et al. The RapidEye mission design. **Acta Astronautica**, v. 56, n. 1, p. 213–219, 2005.

VALENTIN, E. F. D. Modelagem dinâmica de perdas de solo: o caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO. 2011.

VAN REMORTEL, R. D.; HAMILTON, M. E.; HICKEY, R. J. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within ArcInfo grid. **Cartography**, v. 30, n. 1, p. 27–35, 2001.

VIEIRA, A. F. G.; MOLINARI, D. C.; ALBUQUERQUE, A. R. C. 2005. **Dinâmica erosiva em estradas: BR-174 e urucu (Amazonas)**. In: II Simpósio de solos e erosão do centro-oeste. Depto. Engenharia Civil: UFG.

VINAY, M.; RAMU, M. B. Quantification of soil erosion by water using GIS and Remote Sensing techniques: a study of Pandavapura Taluk, Mandya District, Karnataka, India. **ARPN J Earth Sci**, v. 4, n. 2, p. 103–110, 2015.

VOLOTÃO, C. F. DE S. Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats. **São José dos Campo: INPE**, 1998.

VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S. E.; SULLIVAN, C. A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P. M. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, n. 7315, p. 555, 2010.

WANG, X. et al. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v. 137, p. 256–268, 2016.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. **Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning.**, 1978.

WWF. World Wide Fund For Nature. A Pegada Hídrica do Consumo. Relatório Planeta Vivo 2014. Disponível em: Acesso em jun. 2017.

WRUBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; BOAS, M. A. V. Utilização de técnicas de geoprocessamento para caracterização de áreas aptas á irrigação por gotejamento no município de Salto do Lontra–Paraná. **Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2, p. 6–13, 2012.

YANG, X. An assessment of landscape characteristics affecting estuarine nitrogen loading in an urban watershed. **Journal of environmental management**, v. 94, n. 1, p. 50–60, 2012.

ZAKERINEJAD, R.; MAERKER, M. An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran. **Natural Hazards**, v. 79, n. 1, p. 25–50, 2015.

ZARAGOZÍ, B. et al. A free and open source programming library for landscape metrics calculations. **Environmental Modelling & Software**, v. 31, p. 131–140, 2012.

ZHANG, X. C. J.; WANG, Z. L. Interrill soil erosion processes on steep slopes. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 652–664, 2017.