



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU SENSU* EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE

ZULEIDE ALVES FERREIRA

**DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA DO AMBIENTE
CÁRSTICO DA BACIA DO CÓRREGO CANA-BRAVA, AURORA DO
TOCANTINS - TO**

PALMAS – TO
2015

ZULEIDE ALVES FERREIRA

**DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA DO AMBIENTE
CÁRSTICO DA BACIA DO CÓRREGO CANA-BRAVA, AURORA DO
TOCANTINS - TO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências do Ambiente da Fundação Universidade Federal do Tocantins - UFT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Moraes

PALMAS – TO

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

F383d Ferreira, Zuleide Alves.

Diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-brava, Aurora do Tocantins - TO. / Zuleide Alves Ferreira. – Palmas, TO, 2015.

164 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências do Ambiente, 2015.

Orientador: Fernando de Moraes

1. Carste. 2. Degradação ambiental. 3. Bacia hidrográfica. 4. DFC.
I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



Zuleide Alves Ferreira (mestranda)

TÍTULO: Diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego canabava, Aurora do Tocantins-TO.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, da Universidade Federal do Tocantins.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Fernando de Moraes (Orientador)



Examinador: Prof. Dr. José Ramiro Lamadrid Marón (Pós-Graduação em Ciências do Ambiente)



Examinador: Prof. Dr. Maurício Alves da Silva (Curso de Geografia-Campus de Porto Nacional)

**Palmas-TO
29 de setembro de 2015**

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais, Antônio e Nilda, a quem tudo devo.
Ao meu querido esposo, Rodrigo Alexandre, pela dedicação e companheirismo.
Aos meus amados irmãos, Paulo Ricardo (in memoriam) e
Arthur Santhiago (in memoriam), que estarão para sempre vivos em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de evolução intelectual e espiritual.

Agradeço aos meus pais, Antônio e Nilda, por todo amor, dedicação, apoio e confiança em todas as fases da minha vida.

Ao meu esposo, Rodrigo Alexandre, pela dedicação e paciência nos momentos difíceis.

Ao meu professor orientador, Fernando de Moraes, pelos ensinamentos, paciência e dedicação na realização deste trabalho.

Aos meus amigos da Coordenação de Geomática do IFTO, por todo apoio à conclusão deste trabalho: Heloísa, Patrícia, Lidiane, Itamara, Érika, Eduardo, Luiz Antônio, Jonathas e Luís Estácio.

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciências do Ambiente pelo o empenho em transmitir o conhecimento.

Ao mestrando em geografia Daniel dos Santos pelo auxílio nos trabalhos de geoprocessamento e de campo.

Ao geógrafo Arnon Nunes pelo auxílio na vetorização da hidrografia.

Ao secretário municipal de meio ambiente e turismo do município de Aurora do Tocantins, Wagner Moura, pelo apoio nos trabalhos de campo.

A todos que contribuíram, direta e indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A degradação ambiental pode ser ocasionada tanto pelas atividades antrópicas como por processos naturais. Atualmente, é possível constatar um crescente aumento da degradação do meio ambiente, o qual está relacionado, principalmente, ao desenvolvimento das atividades humanas. Existem ambientes mais vulneráveis à degradação devido à sua fragilidade natural. Os terrenos cársticos consistem em ambientes demasiadamente frágeis, isso porque o sistema hidrológico cárstico é altamente vulnerável à poluição, em decorrência de suas características físicas de drenagem predominantemente vertical e ausência de camadas que filtram a água antes de sua chegada aos aquíferos. Ademais, devido à presença de rochas altamente solúveis, podem ocorrer deslizamentos e erosão do solo nesses locais, o que sugere uma maior atenção a esses ambientes. O principal objetivo do presente trabalho consistiu em realizar, mediante adaptações necessárias, o diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-brava, inserida nos municípios de Aurora do Tocantins e Lavandeira, visando contribuir para um melhor conhecimento do carste no Estado do Tocantins, além de servir como suporte à elaboração de diretrizes e estratégias de ação voltadas à preservação ambiental da área de estudo. A metodologia do diagnóstico físico-conservacionista busca diagnosticar a situação real em que se encontram os recursos naturais renováveis em um determinado espaço geográfico e fornece indicativos concretos para o manejo e uso racional de recursos naturais renováveis da bacia hidrográfica. Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam a eficiência no uso da metodologia do diagnóstico físico-conservacionista para o ambiente cárstico. Apesar das adaptações necessárias devido às peculiaridades da área de estudo, esta metodologia atendeu ao objetivo proposto que consistiu em mensurar o potencial de degradação física de uma bacia hidrográfica, mesmo esta estando situada em um ambiente cárstico. Diante da constatação da degradação física da bacia do córrego Cana-brava, sugere-se aos órgãos competentes a adoção de medidas para conter e/ou reverter a situação de degradação, dada a importância da preservação de ambientes cársticos, uma vez que, a conservação destes ambientes está diretamente relacionada à qualidade da água superficial e subterrânea devido às suas características físicas. Cabe ainda salientar, a importância da preservação, dadas as contribuições arqueológicas, paleontológicas e antropológicas, além do potencial turístico destes ambientes.

Palavras-chave: carste, degradação ambiental, bacia hidrográfica, DFC.

ABSTRACT

Environmental degradation can be caused both by anthropogenic activities such as natural processes. Currently it is possible to note a growing increase in the degradation of the environment, which is mainly related to the development of human activities. There are environments more vulnerable to degradation due to its fragile nature. The karst terrains consist in environments too fragile, because the hydrological karstic system is highly vulnerable to pollution, due to its physical characteristics of drainage predominantly vertical and absence of layers that filter the water before their arrival to aquifers. In addition, due to the presence of rocks highly solubles, can occur landslides and soil erosion in these locations, which suggests a greater attention to these environments. The main objective of this work was to be done through necessary adjustments, the physical diagnostic-conservationist of karstic environment of the creek watershed Cana-brava, in the municipalities of Aurora do Tocantins and Lavandeira, aiming to contribute to a better understanding of karst in the State of Tocantins, in addition to serving as a support for the development of guidelines and strategies for action targeted at the environmental preservation of the study area. The methodology of physical diagnostic-conservationist (DFC) search diagnose the actual situation of renewable natural resources in a given geographical area and provides concrete indicative for the management and rational use of renewable natural resources of the watershed. The results obtained in this study indicate that the efficiency in the use of the methodology of physical diagnostic-conservationist for the karst environment. In spite of the adjustments required due to peculiarities of the study area, this methodology has met the objective proposed that consisted in measuring the potential of physical degradation of a watershed, although it is located in a karst environment. Before the finding of the physical degradation of the creek watershed Cana-brava, suggests to competent bodies to adoption of measures to contain and/or revert the situation of degradation, given the importance of preservation of karst topography, since, the conservation of these environments is directly related to the quality of the surface water and groundwater due to its physical characteristics. It is also worth pointing out the importance of preservation, given the contributions archaeological, paleontological and anthropological, in addition to the tourist potential of these environments.

Keywords: karst, environmental degradation, watershed, DFC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Perfil esquemático do sistema cárstico:	24
Figura 2 - Aspectos gerais de um sistema cárstico	25
Figura 3 - Zonas hidrológicas do carste	25
Figura 4 - Dissolução e precipitação de calcita num perfil cárstico e principais espeleotemas	27
Figura 5 - Mapa de distribuição de cavernas no Estado do Tocantins	33
Figura 6 - Mapa de distribuição de cavernas no município de Aurora do Tocantins - TO	34
Figura 7 - Subsistemas que compõem o sistema de informações derivadas de sensoriamento remoto.....	36
Figura 8 - Mapa de localização da bacia do córrego Cana-brava	48
Figura 9 - Mosaico das cartas topográficas Arraias SD-23-V-A-VI e Aurora do Norte SD-23-V-B-IV	49
Figura 10 - Mapa da hidrografia da bacia do córrego Cana-brava	52
Figura 11 - Mapa da hierarquia fluvial da bacia do córrego Cana-brava	53
Figura 12 - Mapa de setorização da bacia do córrego Cana-brava.....	55
Figura 13 - Modelo Digital de Elevação da bacia do córrego Cana-brava.....	56
Figura 14 - Mapa hipsométrico da bacia do córrego Cana-brava.....	57
Figura 15 - Relevo sombreado da bacia do córrego Cana-brava	58
Figura 16 - Perfil longitudinal do curso principal da bacia do Córrego Cana-brava ..	59
Figura 17 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1986	63
Figura 18 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1986	64
Figura 19 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1991	66
Figura 20 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1991	67
Figura 21 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1996	68
Figura 22 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1996	69
Figura 23 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2001	71

Figura 24 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2001	72
Figura 25 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2006	73
Figura 26 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2006	74
Figura 27 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2011	76
Figura 28 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2011	77
Figura 29 - Imagem NDVI - Ano 1986	83
Figura 30 - Imagem NDVI - Ano 2011	84
Figura 31 - Imagem resultante do fatiamento da imagem NDVI do ano 1986	85
Figura 32 - Imagem resultante do fatiamento da imagem NDVI do ano 2011	86
Figura 33 - Mapa de declividade da bacia do córrego Cana-brava	97
Figura 34 - Mapa de precipitação pluviométrica média anual para o Estado do Tocantins - Ano 2011	103
Figura 35 - Distribuição das formações geológicas do Grupo Bambuí	107
Figura 36 - Mapa generalizado da geologia da bacia do córrego Cana-brava	108
Figura 37 - Mapa das unidades geomorfológicas da bacia do córrego Cana-brava	110
Figura 38 - Mapa de distribuição de cavernas na bacia do córrego Cana-brava....	111
Figura 39 - Mapa pedológico da bacia do córrego Cana-brava.....	113
Figura 40 - Mapa do Potencial Erosivo dos Solos para a bacia do córrego Cana-brava	120
Figura 41 - Mapa de distribuição dos pontos catalogados no setor A	132
Figura 42 - Pontos observados no setor A (P1, P2 e P3)	133
Figura 43 - Pontos observados no setor A (P4, P5 e P6)	135
Figura 44 - Mapa de distribuição dos pontos catalogados no setor B	138
Figura 45 - Pontos observados no setor B	139
Figura 46 - Mapa de distribuição dos pontos catalogados no setor C	141
Figura 47 - Pontos observados no setor C	142
Figura 48 - Confluência e tufa calcária no setor C.....	143

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de distribuição de cavernas por litologia no Brasil.....	32
Gráfico 2 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1986 a 2011	79
Gráfico 3 - Precipitação média da bacia do córrego Cana-brava - 1986 a 2011....	101
Gráfico 4 - Balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava.....	125
Gráfico 5 - Representação dos valores da formula descritiva final.....	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais impactos potenciais no carste e nas cavernas.....	30
Quadro 2 - Tempo de operação dos satélites Landsat.....	37
Quadro 3 - Características dos satélites Landsat	38
Quadro 4 - Principais características e aplicações das bandas do sensor TM do satélite Landsat 5	40
Quadro 5 - Características do satélite ALOS.....	41
Quadro 6 - Características do sensor AVNIR-2.....	42
Quadro 7 - Características dos satélites <i>RapidEye</i>	43
Quadro 8 - Fatores potenciais naturais de degradação física	60
Quadro 9 - Classificação quanto ao grau de semelhança entre a vegetação atual e original.....	88
Quadro 10 - Comparativo entre os índices de grau de semelhança determinados ..	93
Quadro 11 - Índice e símbolo de proteção da vegetação	94
Quadro 12 - Índices e símbolos respectivos da proteção oferecida pela cobertura por setores	95
Quadro 13 - Classes de declividade, índices e símbolos utilizados	96
Quadro 14 - Classificação dos índices de erosividade para o Estado do Tocantins	104
Quadro 15 - Índices de erosividade para os setores A, B e C e respectivos símbolos e subíndices	105
Quadro 16 - Valores atribuídos para variável Geologia.....	117
Quadro 17 - Valores atribuídos para variável Geomorfologia.....	117
Quadro 18 - Valores atribuídos para variável Declividade.....	117
Quadro 19 - Valores atribuídos para variável Pedologia	117
Quadro 20 - Valores atribuídos para variável Uso e Ocupação da terra	118
Quadro 21 - Escalonamento dos índices do potencial erosivo, qualificação e símbolo respectivo	121
Quadro 22 - Classes de potencial erosivo dos solos por setores, respectivos índices e símbolos	122
Quadro 23 - Classificação dos valores de densidade de drenagem e simbologia respectiva.....	123

Quadro 24 - Classificação qualitativa dos valores do balanço hídrico e respectivos símbolos.....	126
Quadro 25 - Índices para parâmetro balanço hídrico para os setores A, B e C.....	126
Quadro 26 - Síntese dos índices obtidos para cada parâmetro nos setores A, B e C	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de cavernas por litologia no Brasil	32
Tabela 2 - Análise linear da rede hidrográfica do córrego Cana-brava.....	51
Tabela 3 - Distribuição espacial da setorização da bacia do córrego Cana-brava....	54
Tabela 4 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 1986	62
Tabela 5 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 1991	65
Tabela 6 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 1996	65
Tabela 7 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 2001	70
Tabela 8 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 2006	70
Tabela 9 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 2011	75
Tabela 10 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava de 1986 a 2011	78
Tabela 11 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011	87
Tabela 12 - Uso e ocupação da terra nos setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava nos anos de 1986 e 2011	89
Tabela 13 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011 para o setor A.....	91
Tabela 14 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011 para o setor B.....	92
Tabela 15 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011 para o setor C.....	92
Tabela 16 - Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor A.....	94
Tabela 17 - Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor B.....	95

Tabela 18 - Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor C	95
Tabela 19 - Distribuição espacial da declividade da bacia do córrego Cana-brava ..	98
Tabela 20 - Declividade média da bacia do córrego Cana-brava	98
Tabela 21 - Distribuição espacial da declividade da bacia do córrego Cana-brava por setores	99
Tabela 22 - Declividade média da bacia do córrego Cana-brava por setores	100
Tabela 23 - Erosividade da chuva nas estações da Fazenda Santa Rita e da cidade de Marianópolis	104
Tabela 24 - Erosividade da chuva para a estação de Aurora do Tocantins - TO....	105
Tabela 25 - Geologia da bacia do córrego Cana-brava - Distribuição por área	107
Tabela 26 - Geomorfologia da bacia do córrego Cana-brava - Distribuição por área	109
Tabela 27 - Pedologia da bacia do córrego Cana-brava - Distribuição por área....	112
Tabela 28 - Variáveis e pesos para potencialidade erosiva do solo	118
Tabela 29 - Cálculo do potencial erosivo do solo da bacia do córrego Cana-brava por setor	121
Tabela 30 - Valores de densidade de drenagem dos setores A, B e C,	123
Tabela 31 - Balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava	125
Tabela 32 - Cálculo dos valores de unidades de risco de degradação da bacia do córrego Cana-brava	129

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	CONCEITO E IMPORTÂNCIA DO CARSTE	21
2.1.1	Compartimentação do carste: exocarste, epicarste e endocarste.....	24
2.1.1.1	As cavernas e os espeleotemas.....	25
2.1.2	A fragilidade do carste.....	28
2.1.3	O carste no Tocantins	30
2.2	GEOTECNOLOGIAS	35
2.2.1	Sensoriamento Remoto.....	35
2.2.2	Programa Landsat.....	37
2.2.2.1	Landsat 5	39
2.2.3	Satélite ALOS.....	41
2.2.4	Constelação <i>RapidEye</i>	43
2.2.5	Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas em Ambientes Cársticos	44
2.3	DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA	45
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS	47
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	47
3.1.1	Clima.....	50
3.1.2	Hidrografia.....	51
3.1.3	Setorização da bacia do córrego Cana-brava	54
3.2	APLICAÇÃO DO DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA	60
3.2.1	Determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) e cobertura vegetal atual (CA).....	61
3.2.1.1	Análise multitemporal do uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana- brava.....	62
3.2.1.2	NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>)	80

3.2.1.3	Determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) para os setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava.....	88
3.2.1.4	Determinação do parâmetro de cobertura vegetal atual (CA)	94
3.2.2	Determinação do parâmetro declividade média (DM)	96
3.2.2.1	Declividade nos setores A, B e C	99
3.2.3	Determinação do parâmetro erosividade da chuva (E)	101
3.2.4	Determinação do parâmetro potencial erosivo do solo (PE)	106
3.2.4.1	Determinação do parâmetro potencial erosivo do solo (PE) para a bacia do córrego Cana-brava	116
3.2.5	Determinação do parâmetro de densidade de drenagem (DD) para a bacia do córrego Cana-brava	122
3.2.6	Determinação do parâmetro balanço hídrico (BH) para a bacia do córrego Cana-brava.....	124
3.3	FÓRMULA DESCRITIVA FINAL	127
3.4	CÁLCULO DO VALOR CRÍTICO DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO ...	128
3.5	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA	130
3.6	OBSERVAÇÕES DE CAMPO.....	131
3.6.1	Observações no Setor A	131
3.6.2	Observações no Setor B	136
3.6.3	Observações no Setor C	140
3.7	MAPA EXPLORATÓRIO DE FENÔMENOS CÁRSTICOS	144
3.8	COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS	145
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146
	REFERÊNCIAS.....	150
	ANEXO A	164

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental pode ser ocasionada tanto pelas atividades antrópicas como por processos naturais. Entretanto, atualmente é possível constatar um crescente aumento da degradação do meio ambiente, o qual está relacionado, principalmente, ao desenvolvimento das atividades humanas.

De acordo com Cunha e Guerra (2009), a degradação ambiental pode ter uma série de causas, sendo que o manejo inadequado do solo constitui a principal delas. Os processos de degradação natural, como a formação dos solos, lixiviação, erosão, deslizamentos, modificação do regime hidrológico e da cobertura vegetal, ocorrem mesmo sem a intervenção humana. Porém, as atividades antrópicas (desmatamento excessivo, práticas agrícolas, mineração e urbanização) potencializam estes processos, acarretando consequências quase sempre desastrosas para a sociedade, contribuindo para a aceleração do processo de degradação ambiental.

Existem ambientes mais vulneráveis à degradação ambiental devido à sua fragilidade natural. Os terrenos cársticos consistem em ambientes demasiadamente frágeis, isso porque o sistema hidrológico cárstico é altamente vulnerável à poluição, em decorrência de suas características físicas de drenagem predominantemente vertical e ausência de camadas que filtram a água antes de sua chegada aos aquíferos (sumidouros/fendas). Ademais, devido à presença de rochas altamente solúveis, podem ocorrer deslizamentos e erosão do solo nesses locais, o que sugere uma maior atenção a esses ambientes.

Sallun Filho e Karmann (2012) afirmam que áreas cársticas são muito vulneráveis à poluição e a riscos geológicos. Reconhecidas como de grande importância geológica, paleoclimática e paleontológica, estas áreas ocupam uma pequena parcela do território brasileiro. Contudo, constituem áreas de grande interesse econômico, por serem consideradas fontes de recursos minerais e hídricos.

O carste é considerado um tipo específico de sistema de circulação de fluido capaz de autodesenvolvimento e auto-organização (KLIMCHOUK; FORD, 2000). De acordo com Klimchouk e Ford (2000, p. 46), o carste pode ser definido como um "sistema integrado de transferência de massa, em rochas solúveis, com uma

estrutura de permeabilidade dominada por condutos dissolvidos a partir da rocha e organizados para facilitar a circulação de fluidos".

Segundo Tricart (1977), um sistema é constituído por fenômenos decorrentes de fluxos de matéria e energia que dão origem às relações de dependência mútua entre estes. Cada sistema possui uma dinâmica própria e específica, sendo este, o melhor instrumento lógico para o estudo de problemas relacionados ao meio ambiente.

Os sistemas ambientais, ou geossistemas, são compostos por elementos que são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e de energia. Estes sistemas tendem a apresentar um arranjo espacial dos componentes naturais que caracterizará os diferentes padrões de paisagens. Desse modo, os componentes de cada sistema apresentam um relacionamento harmônico em relação aos recursos ambientais, reagindo de forma singular quanto às condições históricas de uso e ocupação (NASCIMENTO et al., 2008).

Para Nascimento et al. (2008), a degradação ambiental é resultado da inobservância de modelos conservacionistas no uso e ocupação da terra, a qual compromete a capacidade produtiva dos solos e a qualidade ambiental. Assim sendo, a tipologia do uso e ocupação da terra numa bacia hidrográfica é resultado da ocupação urbana e industrial, dos usos múltiplos dos recursos hídricos e dos agroecossistemas. Consequentemente, o uso desordenado resulta no esgotamento dos recursos naturais, em decorrência do grau irreversível dos impactos ambientais, quando é extrapolada a capacidade de suporte dos geossistemas.

A urbanização, a agricultura, a mineração, o turismo, dentre outras atividades antrópicas, sempre resultam em impactos ambientais, os quais, em alguns casos, podem se tornar irreversíveis. O artigo 225 da Constituição Federal (1988) assegura que todos devem ter direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial à sadia qualidade de vida, sendo de responsabilidade do Poder Público e da coletividade, o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

De acordo como o CONAMA (1986, art. 1º), é considerado impacto ambiental qualquer alteração das propriedades inerentes ao meio ambiente oriunda das atividades antrópicas que "afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais".

Segundo Neves (2012), a interação do homem com a natureza acarreta impactos ambientais que são percebidos através da redução da cobertura vegetal, aumento de áreas impermeabilizadas, potencialização dos processos erosivos, assoreamento e contaminação dos cursos d'água. Desta forma, a autora ressalta a importância da visão sistêmica do ambiente em estudos de cunho geográfico e ambiental, em função da complexidade da relação sociedade-natureza que envolve inúmeras variáveis e interações entre os elementos do sistema natural.

O processo descontrolado de degradação dos recursos naturais renováveis deve ser analisado e contido de forma rápida e eficiente. Deste modo, a metodologia do diagnóstico físico-conservacionista (DFC) se transforma num instrumento primordial em um trabalho de preservação, a qual busca diagnosticar a situação real em que se encontram os recursos naturais renováveis em um determinado espaço geográfico, sendo necessária, para isto, a análise de indicadores (parâmetros) potenciais de proteção ou degradação dos recursos naturais renováveis da bacia hidrográfica (BELTRAME, 1994).

A bacia hidrográfica é hoje reconhecida mundialmente como a melhor unidade para o manejo dos recursos naturais, por se tratar de uma unidade física que pode ser bem delimitada, onde podem ser identificados os seus processos de funcionamento. A ineficiência do gerenciamento de bacias hidrográficas acarreta na degradação de solo, perda de produtividade, assoreamento, redução de vazão, enchentes, baixa qualidade da água e a retirada da cobertura vegetal dos mananciais (FERRETTI, 2013).

Para a análise ambiental de bacias hidrográficas, tornam-se necessárias a integração e a análise de um grande número de informações de origens diversas. O geoprocessamento torna possível a integração destas variáveis, através de um sistema de informação geográfica (SIG), possibilitando diagnosticar a situação atual e também uma avaliação multitemporal da bacia hidrográfica (LEITE, 2007).

O sistema cárstico, relevo no qual as cavernas estão inseridas, fornece indícios dos aspectos ambientais e antropológicos em tempos remotos, constituindo, dessa forma, excelente ferramenta para o entendimento do funcionamento da paisagem. Porém, ainda são poucos os trabalhos que envolvem o carste no Estado do Tocantins, fato que ocorre provavelmente em função da distância dos grandes centros, onde está localizada a maioria dos grupos de pesquisas espeleológicas no Brasil (MORAIS, 2009, 2011).

A legislação brasileira contempla direta e indiretamente os terrenos cársticos. Contudo, os estudos ambientais feitos no Brasil estão concentrados nas cavernas, ignorando, muitas vezes, o terreno adjacente ou apenas caracterizando-o, sem considerar a relação entre as diversas componentes do sistema (HARDT, 2006).

Diante do exposto, tornam-se necessários estudos em regiões que ainda não foram integralmente modificadas pelas mais diversas formas de uso e ocupação contemporâneas, valendo ressaltar que não se têm evidências da aplicação da metodologia de diagnóstico físico-conservacionista ao ambiente cárstico no Brasil. Neste sentido, este trabalho tem como principal objetivo realizar, mediante adaptações necessárias, o diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-brava, inserida nos municípios de Aurora do Tocantins e Lavandeira, visando contribuir para um melhor conhecimento do carste no Estado do Tocantins, podendo servir como suporte à elaboração de diretrizes e estratégias de ação voltadas à preservação ambiental da área de estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em realizar o diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-brava localizada no município de Aurora do Tocantins.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a área da bacia e elaborar o mapa de fenômenos cársticos;
- Verificar a aplicabilidade da metodologia do diagnóstico físico-conservacionista para o ambiente cárstico, mediante comparação dos resultados obtidos através de outras metodologias já aplicadas à área de estudo, e;
- Contribuir para o diagnóstico e planejamento do uso e ocupação de áreas cársticas no Estado do Tocantins, disponibilizando os resultados obtidos para as secretarias de planejamento, meio ambiente, turismo, habitação e outros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa, foi abordada uma fundamentação teórica sobre alguns temas de extrema relevância para a realização desta pesquisa, como o conceito e a importância do carste, as geotecnologias (sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas) e o Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC).

2.1 CONCEITO E IMPORTÂNCIA DO CARSTE

O termo carste, oriundo da palavra pré-indo-européia *karra*, cujo significado é campo de pedras calcárias, pode ser nomeado como *karst* em alemão, *kras* em esloveno e *carso* em italiano. Este termo é utilizado para caracterizar um distinto sistema geomorfológico e hidrogeológico, particularmente associado a rochas solúveis. Muitos cientistas supõem que este termo foi utilizado inicialmente, em meados do século XIX, para denominar a morfologia das formações calcárias da região ocidental da antiga Iugoslávia, Albânia e noroeste da Grécia. As denominações relativas à morfologia cárstica são aceitas internacionalmente, apesar de estarem relacionadas à ocorrência de rochas calcárias da antiga Iugoslávia e de outras localidades da Europa (GAMS, 1993; BIGARELLA, 2007).

Christofolletti (1980) define o sistema cárstico como um ambiente que possui uma topografia característica oriunda da dissolução de rochas calcárias ou dolomíticas e tem como principal aspecto a presença de drenagem de sentido predominantemente vertical e subterrâneo.

O carste abrange todos os aspectos morfológicos oriundos de processos de dissolução das rochas calcárias ou dolomíticas. Devido a este processo de dissolução, a paisagem cárstica apresenta um aspecto ruiforme e esburacado, onde predomina a drenagem vertical e subterrânea (BIGARELLA, 2007).

Para Hardt (2004, 2008), o carste é constituído por um relevo complexo, o qual pode ser definido em termos de um conjunto de formas que são condicionadas pela estrutura e pela dissolução das rochas e processos geomorfológicos associados. Em suma, o relevo cárstico é resultado da combinação de processos geológicos, químicos e geomorfológicos.

O relevo cárstico é caracterizado por feições superficiais do terreno bem peculiares, resultantes de processos de dissolução pela ação de águas superficiais e subterrâneas, tais como: solos típicos, depressões fechadas, dolinas, sistemas de cavernas e ausência ou escassez de drenagem superficial (SUGUIO, 2010; SALLUN FILHO; KARMANN, 2012).

Segundo Kohler (1989), o relevo cárstico se desenvolve sobre rochas solúveis que sofrem corrosão pela ação das águas superficiais e subterrâneas. Sendo assim, a dinâmica e a evolução dos relevos cársticos são condicionadas pela corrosão (processo químico) e pelos abatimentos endocársticos (processo físico) associados a outros processos morfogenéticos endógenos e exógenos. Desse modo, a gênese e evolução de uma paisagem cárstica será condicionada pelo grau de dissolução da rocha, pela quantidade e qualidade de água disponível associados às características ambientais da litosfera, biosfera e atmosfera (KOHLE, 2003). Também são atuantes, na gênese e na evolução das formas cársticas de uma região, a litologia, estratigrafia, tectônica, paleoclima, clima atual e o recobrimento florístico (BIGARELLA, 2007).

Karmann (2009) afirma que, para o desenvolvimento pleno dos sistemas cársticos, são necessárias algumas condições, como rocha solúvel com permeabilidade de fraturas, formas de relevo favoráveis e clima quente e úmido. Segundo o autor, rochas solúveis com superfícies de estratificação, plano de fraturas e falhas, facilitam a definição de rotas preferenciais de circulação da água subterrânea devido ao processo de dissolução destas ao longo das intercessões entre os planos. Do mesmo modo, altos gradientes hidráulicos, oriundos de uma topografia acidentada, resultam em velocidades maiores da água subterrânea que resultará numa maior eficiência na remoção de resíduos insolúveis e também na dissolução da rocha, acelerando o processo de carstificação. O autor afirma também que, climas úmidos são mais apropriados para um melhor desenvolvimento do carste, uma vez que a dissolução é a principal causa na formação dos sistemas cársticos. Acrescenta ainda que, climas quentes com vegetação densa favorecem a formação do carste, devido a uma maior produção biogênica no solo, o que aumenta o teor de ácido carbônico nas águas de infiltração.

Para Piló (1999), os ambientes cársticos são dignos de valoração e preservação devido à riqueza natural e cultural que a diversidade destes ambientes apresenta, isso porque, as cavernas constituem um meio favorável à preservação de

vestígios arqueológicos. Estes sítios geomorfológicos guardam também registros paleoambientais passíveis de datação absoluta. Ainda segundo o autor, os estudos bioespeleológicos em cavernas revelam uma importante fauna, onde estão incluídos diversos grupos taxonômicos como insetos, aracnídeos e crustáceos. Ademais, as características das cavernas com suas formações peculiares, ambiente escuro, silêncio profundo e amplos espaços subterrâneos, vêm atraindo diversas manifestações religiosas.

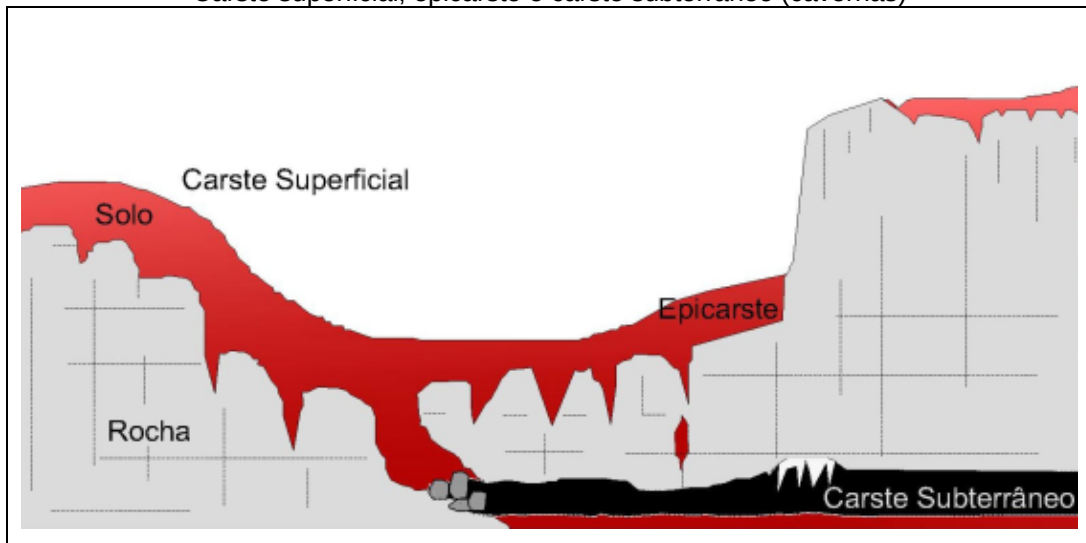
Segundo Piló e Auler (2011), as cavernas são merecedoras de conservação por conterem registros cheios de significado, os quais proporcionam uma melhor compreensão do passado. Estas fornecem importantes registros fossilíferos, contribuindo para as pesquisas sobre a paleontologia de vertebrados do Pleistoceno brasileiro. Esses documentos paleobiológicos são fundamentais para o conhecimento taxonômico, anatômico e paleoecológico dos mamíferos quaternários do Brasil.

De acordo com o CECAP (2014a), as cavernas consistem em ecossistemas frágeis e delicados, onde os fluxos de energia são processados a cada momento, o que justifica um cuidado especial quanto às intervenções humanas. Assim, a preservação e a conservação destas, bem como dos sítios espeleológicos e suas áreas de influência, têm como objetivo principal a manutenção destes distintos e vulneráveis sistemas ecológicos. As cavernas, além de exercerem um papel importante no armazenamento de água, através da recarga e descarga de aquíferos, favorecem o desenvolvimento de estudos científicos em diversos campos do conhecimento, contribuindo para pesquisas relativas aos processos de origem, formação e transformações da litologia e paleoclima local. Além disso, estes ecossistemas conservam informações da vida pretérita por meio de sítios fossilíferos e arqueológicos, os quais possibilitam a identificação e o catálogo de espécies de animais e vegetais fósseis, além de contribuir para estudos antropológicos e conservação de habitats.

2.1.1 Compartimentação do carste: exocarste, epicarste e endocarste

Para Piló (2000, p. 1), "o conjunto espacial que constitui a geomorfologia cárstica pode ser compartimentado em três domínios, envolvendo a superfície (exocarste), a subsuperfície (epicarste) e o meio subterrâneo (endocarste)". A figura 1 demonstra os três domínios do sistema cárstico.

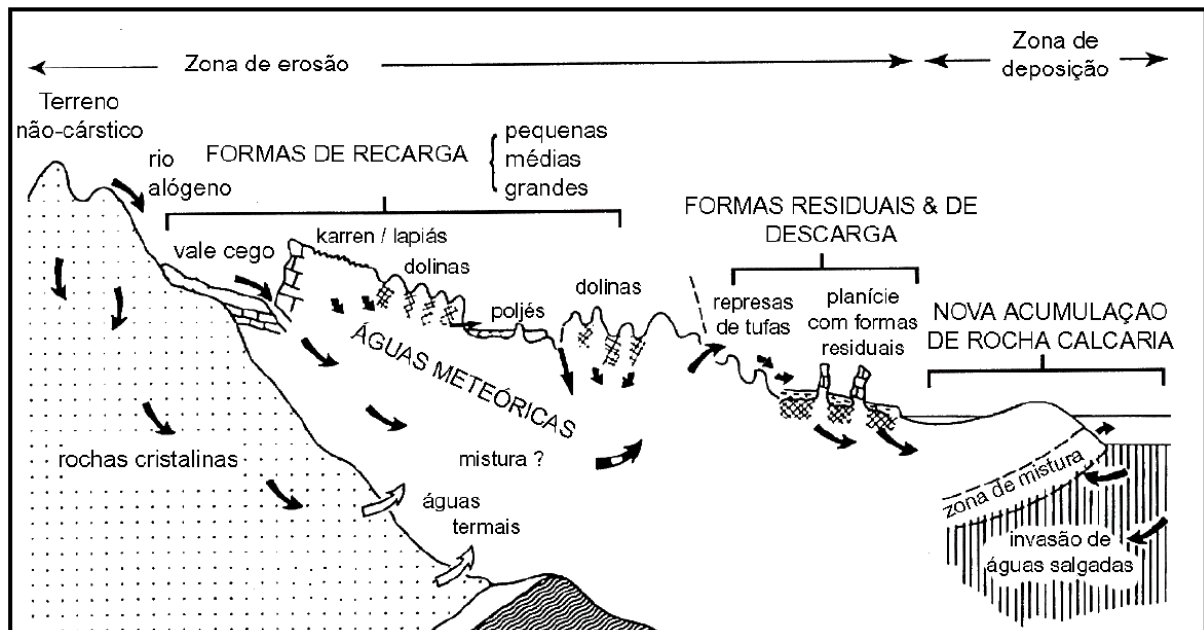
Figura 1 - Perfil esquemático do sistema cárstico:
Carste superficial, epicarste e carste subterrâneo (cavernas)



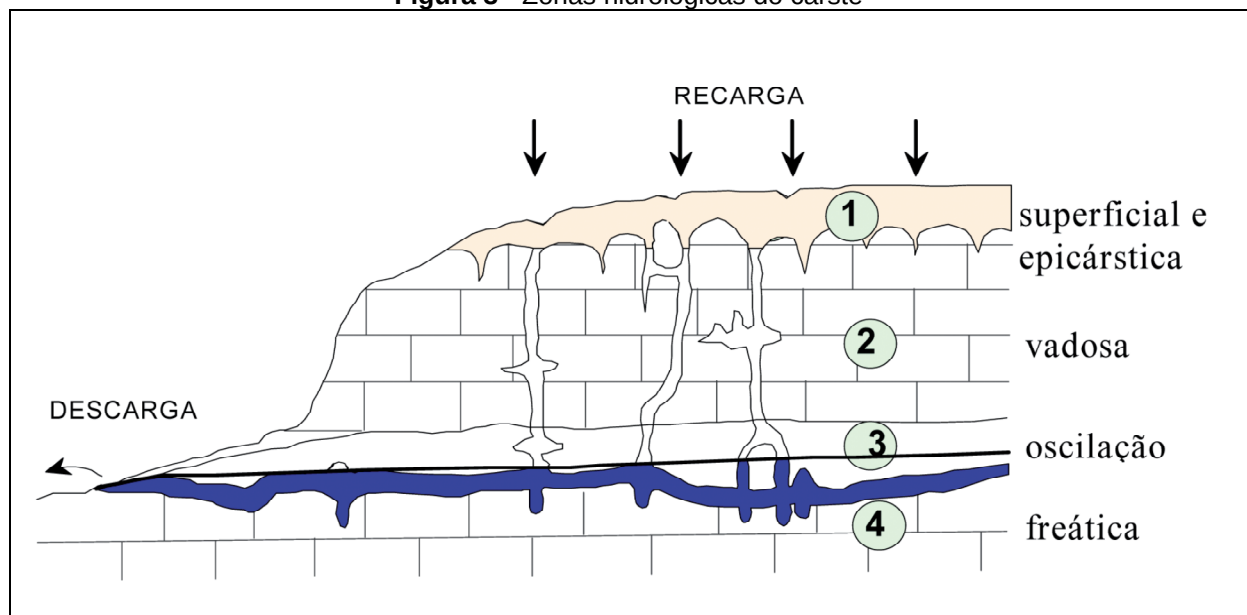
Fonte: Piló e Auler (2011)

A figura 2 demonstra as formas superficiais ou exocársticas, as quais apresentam feições como dolinas, uvalas, *poljés*, torres, verrugas, mogotes e maciços (KOHLE, 2003). Já a figura 3 demonstra o epicarste, o qual está localizado logo abaixo da superfície, entre o solo (quando existente) e a rocha calcária, na parte superior da zona vadosa (FORD; WILLIAMS, 2007; PILÓ; AULER, 2011). Para Klimchouk (2004), o epicarste ocupa a zona superior das rochas carbonáticas, onde a distribuição da porosidade e permeabilidade é substancialmente mais elevada e mais homogênea quando comparada com a estrutura rochosa inferior.

O endocarste, por sua vez, abrange as zonas vadosa e freática, compreendendo as formas de corrosão associadas a rochas solúveis, de origem subterrânea, tais como as cavernas e seus espeleotemas (estalactites, estalagmites, cortinas, véus, assoalhos, nichos, colunas e outros) (KOHLE, 2003; SUGUIO, 2010).

Figura 2 - Aspectos gerais de um sistema cárstico

Fonte: Adaptado de Ford e Williams (2007 apud TRAVASSOS, 2010, p. 41)

Figura 3 - Zonas hidrológicas do carste

Fonte: Piló e Auler (2011)

2.1.1.1 As cavernas e os espeleotemas

Segundo Piló e Auler (2011, p. 7), a definição de caverna dada pela União Internacional de Espeleologia (UIS) é a mais utilizada internacionalmente e a define como "uma abertura natural formada em rocha abaixo da superfície do terreno, larga o suficiente para a entrada do homem".

De acordo com Brasil (2008):

Entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecida como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante.

Suguio (2010) ressalta que as cavernas constituídas por rochas carbonáticas são encontradas com maior frequência e exercem papel de maior importância. Estas são definidas pelo autor como redes tridimensionais de condutos que se estendem da entrada até a saída, os quais possuem diâmetros de tamanhos que variam de alguns milímetros a dezenas de metros.

De acordo com Piló e Auler (2011, p. 9):

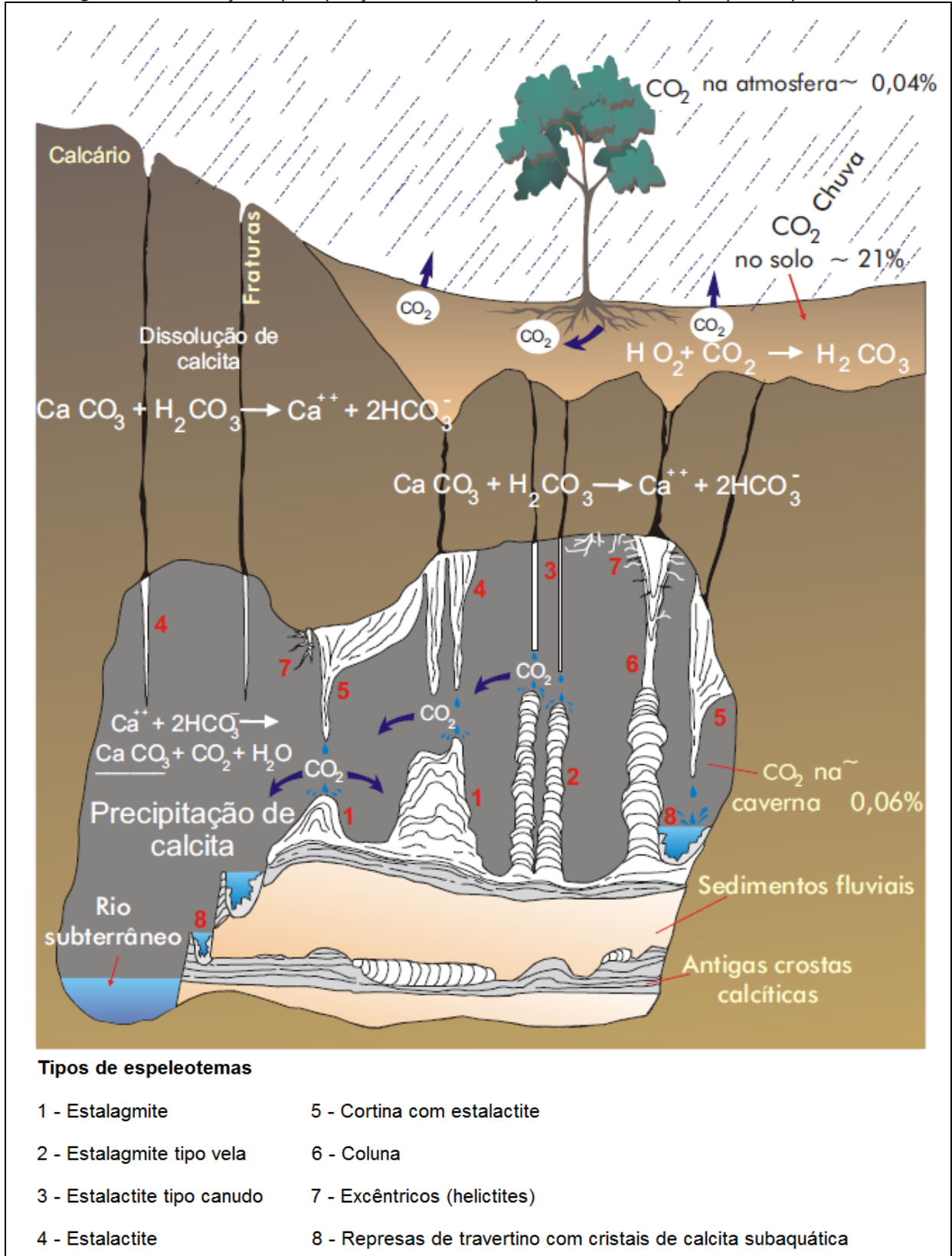
Cerca de 90% das cavernas reconhecidas em todo o mundo se desenvolvem em rochas carbonáticas. No Brasil, no entanto, devido a fatores ainda pouco conhecidos, mas seguramente envolvendo variáveis geomorfológicas e climáticas, arenitos e quartzitos são também muito susceptíveis a formação de cavernas. Mais recentemente, a constatação de que áreas de minério de ferro e canga são extremamente favoráveis à formação de cavernas, adicionou mais um componente ao mosaico espeleológico brasileiro. Ocorrem também, embora em menor escala, cavernas em granito, gnaíse, rochas metamórficas variadas como micaxistos e filitos, além de coberturas de solos.

Os espeleotemas, por sua vez, são caracterizados pela forma e regime de fluxo de água de infiltração, sendo modelados pelo gotejamento da água de infiltração. Dentre os espeleotemas, os mais comuns são as estalactites, formadas pelo gotejamento proveniente de fraturas nos tetos das cavernas que crescem em direção ao piso, e as estalagmites, que crescem no sentido oposto, do piso para a origem do gotejamento, devido ao acúmulo de carbonato de cálcio (KARMANN, 2009). Quando as estalactites e estalagmites se unem, formam-se as colunas (BIGARELLA, 2007).

Segundo Travassos (2007), o intemperismo químico promovido pelo ácido carbônico sobre as rochas constitui fator preponderante no processo de formação da paisagem cárstica, isso porque a água da chuva reage com o gás carbônico presente na atmosfera e no solo, resultando em uma solução ácida que penetrará

por fendas ou fraturas da rocha, causando sua corrosão e produzindo bicarbonato de cálcio, que será transportado pela água, originando os espeleotemas (Figura 4).

Figura 4 - Dissolução e precipitação de calcita num perfil cárstico e principais espeleotemas



Fonte: Karmann (2009)

2.1.2 A fragilidade do carste

Os ambientes cársticos são particularmente frágeis e vulneráveis à degradação se comparados com a maioria dos outros sistemas naturais. As atividades antrópicas realizadas sobre terrenos não-cársticos adjacentes também podem resultar na degradação do ecossistema cárstico, devido à natureza do sistema hidrológico do carste (FORD; WILLIAMS, 2007). A poluição do aquífero subterrâneo acontece devido à ocorrência de fissuras por onde a água superficial penetra com facilidade, sem antes passar por um filtro, constituído por um solo (KOHLE, 2003).

Floriani (2003) constatou que o terreno cárstico apresenta fragilidade moderada a alta para ocupação urbana e exploração agrícola, devido à ocorrência de rochas de altíssima solubilidade (rochas carbonáticas). Constatou ainda que, a presença de dolinas representa alto risco de afundamentos bruscos, o que compromete atividades geotécnicas como escavações e fundações. Do mesmo modo, a ocorrência de sumidouros de drenagem apresenta alta vulnerabilidade a qualquer tipo de poluente, uma vez que constituem áreas de recarga e descarga dos aquíferos.

Kohler (1989) também aponta a fragilidade do relevo cárstico. De acordo com o autor, os solos presentes em áreas cársticas não devem receber agrotóxicos devido à macroporosidade das rochas que compõem o relevo, onde também não são recomendadas grandes obras de engenharia devido às constantes inundações e abatimentos característicos dessas regiões. Desse modo, o autor sugere um planejamento racional de utilização do espaço cárstico, o qual deve ser elaborado respeitando as condições de relevo e o sistema hídrico, a fim de promover a preservação das áreas de recargas e evitar a poluição das águas do endocarste.

Segundo Ford e Williams (2007), dentre os impactos humanos sobre o ambiente cárstico, destaca-se a poluição da água, especialmente em locais onde os aquíferos não são confinados. Para eles, os sistemas hidrológicos localizados em áreas cársticas apresentam maiores problemas de impactos ambientais porque, além da presença de águas superficiais, há um conjunto de dificuldades associadas à rede de condutos subterrâneos e seus frágeis ecossistemas associados.

São diversas as atividades antrópicas que ocorrem sobre os ambientes cársticos. Piló (1999) enumera várias atividades, como a crescente demanda por abastecimento hídrico, a mineração, a agricultura, a construção de barragens, turismo e recreação, desmatamento e urbanização. Segundo o autor, o mau gerenciamento destas atividades pode gerar impactos ambientais nos ambientes cársticos como a poluição dos aquíferos, erosão do solo, alteração das rotas de drenagem subterrâneas, depredação de cavernas e painéis rupestres, entre outros.

A paisagem cárstica e as cavernas são consideradas como um domínio peculiar e frágil. Alterações ambientais, por menores que sejam, podem representar sérias ameaças à integridade do meio subterrâneo, podendo acarretar em impactos localizados de baixa magnitude até a destruição (supressão) total da caverna. Dentre os impactos potenciais sobre o carste e as cavernas (Quadro 1), destaca-se o desmatamento, o qual constitui um dos principais impactos oriundos das atividades antrópicas sobre os domínios cársticos (PILÓ; AULER, 2011).

De acordo com Piló e Auler (2011, p. 17-18):

O desmate em domínios cársticos tem sido ocasionado por duas atividades principais: agropastoril (expansão) e extrativismo para obtenção de insumos florestais, principalmente lenha e derivados. Diante desse quadro, várias regiões contendo cavernas vêm sofrendo significativas alterações em decorrência dos desmatamentos, tais como fragmentação de habitats e perda de espécies vegetais e animais. A falta de proteção vegetal acelera os processos erosivos e o esgotamento dos solos, como também o assoreamento de sistemas hidrológicos.

Para Lobo et al. (2006), a atividade turística em cavernas (espeleoturismo), mesmo sendo executada de forma responsável, causa impactos negativos, devido à fragilidade peculiar desses ambientes. Contudo, o espeleoturismo constitui uma das formas de exploração menos degradante, devido à sua base ecoturística, a qual necessita de um ambiente em estado próximo ao natural para existir, sendo necessário, portanto, um plano de manejo que contemple as particularidades de cada local.

Quadro 1 - Principais impactos potenciais no carste e nas cavernas

Atividades	Impactos potenciais
Mineração	Degradação visual; interferências nas rotas de drenagem subterrânea; poluição de aquíferos; vibrações nas cavernas decorrentes das detonações para desmontes; sobrepressão acústica; supressão total ou parcial de cavernas.
Reservatórios e barragens	Aumentos dos processos de abatimento; fugas d'água; alagamento total ou parcial de cavernas; alteração no uso do solo no entorno.
Urbanização, industrialização e grandes obras de engenharia	Poluição e superexploração de aquíferos; abatimentos induzidos; erosão superficial e assoreamento de cavernas; chuva ácida; poluição atmosférica; inundações. Sobrepressão acústica e alteração do sistema de drenagem (terraplenagem).
Adaptação para o turismo em massa/uso religioso intensivo	Obras de engenharia no interior da caverna; destruição de espeleotemas; pichações; liquefação e compactação do piso das cavernas; alteração do biótopo cavernícola; geração de lixo; poluição de corpos hídricos.
Desmatamento/Agropastoris	Fragmentação de habitats, perda de espécies vegetais e animais; erosão e assoreamento de corpos hídricos; alteração do biótopo cavernícola. Contaminação de aquíferos por pesticidas e fertilizantes; superexploração dos aquíferos.
Visitação	Pisoteamento, quebra de espeleotemas, pichações, poluição da caverna.

Fonte: Piló e Auler (2011)

2.1.3 O carste no Tocantins

De acordo com Ford e Williams (2007), as rochas carbonáticas cobrem cerca de 10 a 15% da área continental. Dessa forma, aproximadamente 20 a 25% da população mundial depende de aquíferos cársticos para o abastecimento.

No Brasil, estima-se que cerca de 3% do seu território seja ocupado por carste carbonático. A maioria das rochas carbonáticas está situada a noroeste de Minas Gerais, leste de Goiás, sudeste do Tocantins, oeste da Bahia (Grupo Bambuí) e também na região central da Bahia (Grupo Una). Contudo, os aquíferos presentes nessas regiões, com exceção da região metropolitana de Belo Horizonte, ainda são pouco explorados para abastecimento de água (KARMANN, 2009).

Visando relacionar todas as áreas carbonáticas presentes no território brasileiro, Karmann e Sánchez (1979), compilaram dados bibliográficos oriundos de

mapas geológicos, trabalhos de Geologia Regional e ainda do "Cadastro das Cavernas no Brasil" (Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE). Deste modo, foram identificadas cinco províncias espeleológicas¹: Vale do Ribeira (áreas carbonáticas do nordeste paranaense e sudeste paulista), Bambuí (centro-leste e sudeste de Goiás, centro-oeste e noroeste de Minas Gerais e oeste da Bahia), Serra da Bodoquena (Mato Grosso do Sul), Alto Paraguai (Mato Grosso, a norte de Cuiabá) e Chapada da Ibiapaba (noroeste do Ceará).

A província espeleológica do Bambuí corresponde ao maior conjunto de ocorrências calcárias favoráveis à presença de cavernas no Brasil e, em decorrência de sua vasta distribuição, a mesma foi subdividida em cinco distritos espeleológicos: São Domingos (Goiás), Brasília, Alto e Médio São Francisco, Irecê e Alto Paraguaçu. Os municípios de Posse, São Domingos, Galheiros, Campos Belos e Aurora do Norte² estão inseridos no distrito de São Domingos (Formação Paraopeba) (KARMANN; SÁNCHEZ, 1979).

Conforme a base de dados da CECav (2014b), existem 13.588 cavernas catalogadas no Brasil (situação em 31/08/14), as quais ocorrem em sua maioria, sobre rochas carbonáticas (62,7%), canga e formação ferrífera (15,7%), quartzito (5,7%) e arenito (5,6%) conforme demonstram a tabela 1 e o gráfico 1.

Segundo Moraes (2011), no Estado do Tocantins, das cavernas catalogadas no Cadastro Nacional de Cavidades, organizado pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (CNC/SBE), mais de 85% estão localizadas sobre rochas carbonáticas. Ademais, as maiores ocorrências estão no sudeste do Estado (Figura 5), destacando-se os municípios de Aurora do Tocantins, Dianópolis e Arraias, onde estão situadas nove das dez maiores cavernas do Tocantins. De acordo com os dados do CECav (2014b), existem 849 cavernas cadastradas no Estado do Tocantins, sendo que, deste total, 107 estão localizadas no município de Aurora do Tocantins (Figura 6).

De acordo com Moraes (2013), dentre várias feições cársticas presentes no município de Aurora do Tocantins, destaca-se o rio Azuis. Definido como uma

¹ Província espeleológica foi designada como "uma região pertencente a uma mesma formação geológica, onde ocorrem grandes corpos de rochas carbonáticas suscetíveis às ações cársticas, ocasionando a presença de agrupamentos de cavernas." (KARMANN; SÁNCHEZ, 1979, p. 106).

² Aurora do Norte teve alteração toponímica para Aurora do Tocantins, através do artigo 4º do decreto legislativo nº 1, de 01 de outubro de 1989, do Diário Oficial do Estado do Tocantins (IBGE, 2014a).

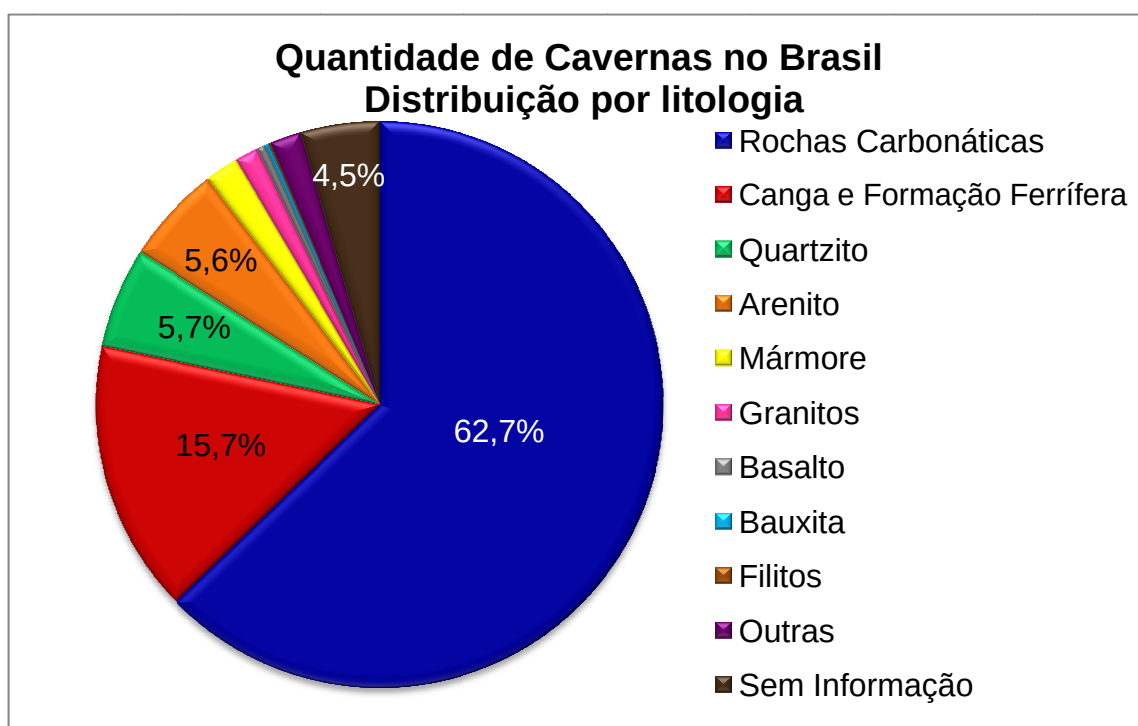
surgência cárstica, este é considerado o menor rio do Brasil, com apenas 137 metros de extensão. Apesar de estar localizado fora da bacia do córrego Canabrava, o rio Azuis apresenta grande potencial turístico e elevada fragilidade ambiental, o que sugere um Plano de Manejo para as atividades turísticas desenvolvidas na região (MORAIS, 2013).

Tabela 1 - Distribuição de cavernas por litologia no Brasil

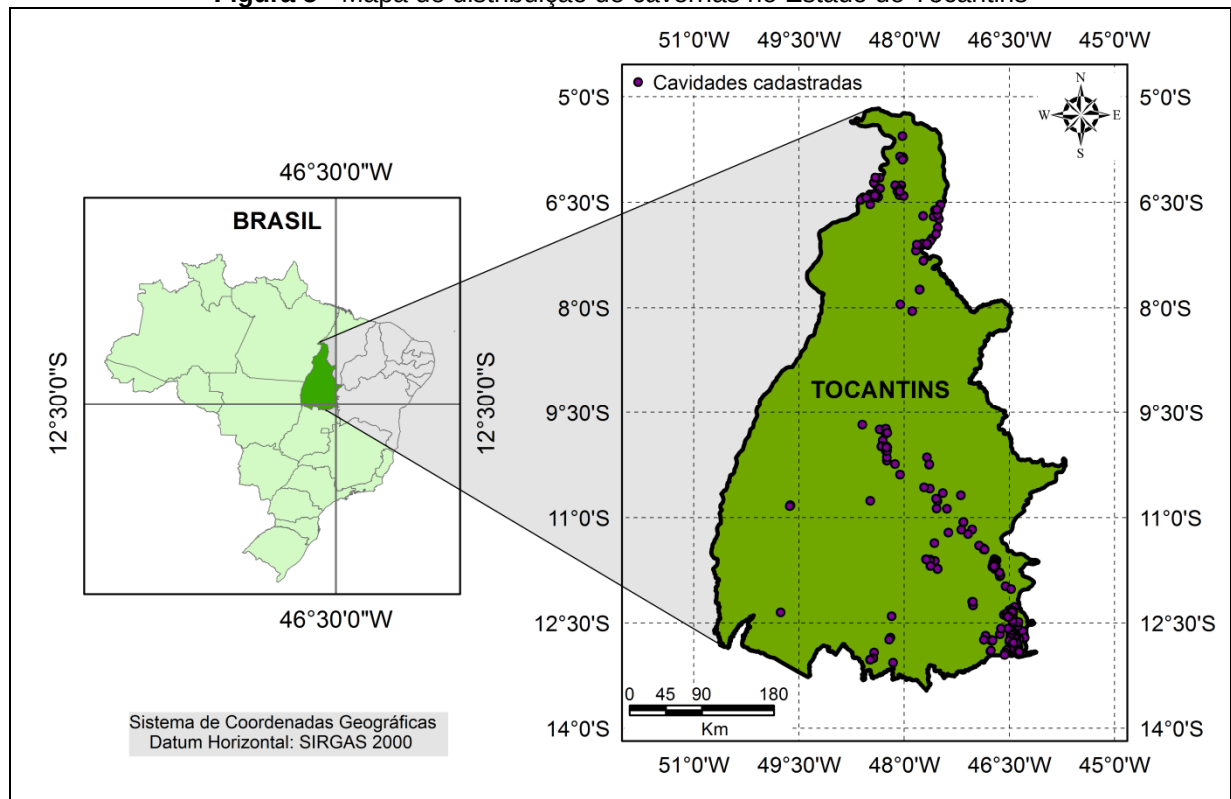
Litologia	Quantidade de Cavernas	Percentual (%)
Rochas Carbonáticas	8524	62,7
Canga e Formação Ferrífera	2118	15,7
Quartzito	779	5,7
Arenito	761	5,6
Mármore	262	1,9
Granitos	180	1,3
Basalto	65	0,5
Bauxita	31	0,2
Filitos	14	0,1
Outras	241	1,8
Sem Informação	613	4,5
TOTAL	13.588	100,0

Fonte: Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas do CECAV, situação em 31 de agosto de 2014. Organizada pela autora.

Gráfico 1 - Percentual de distribuição de cavernas por litologia no Brasil



Fonte: Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas do CECAV, situação em 31 de agosto de 2014. Organizado pela autora.

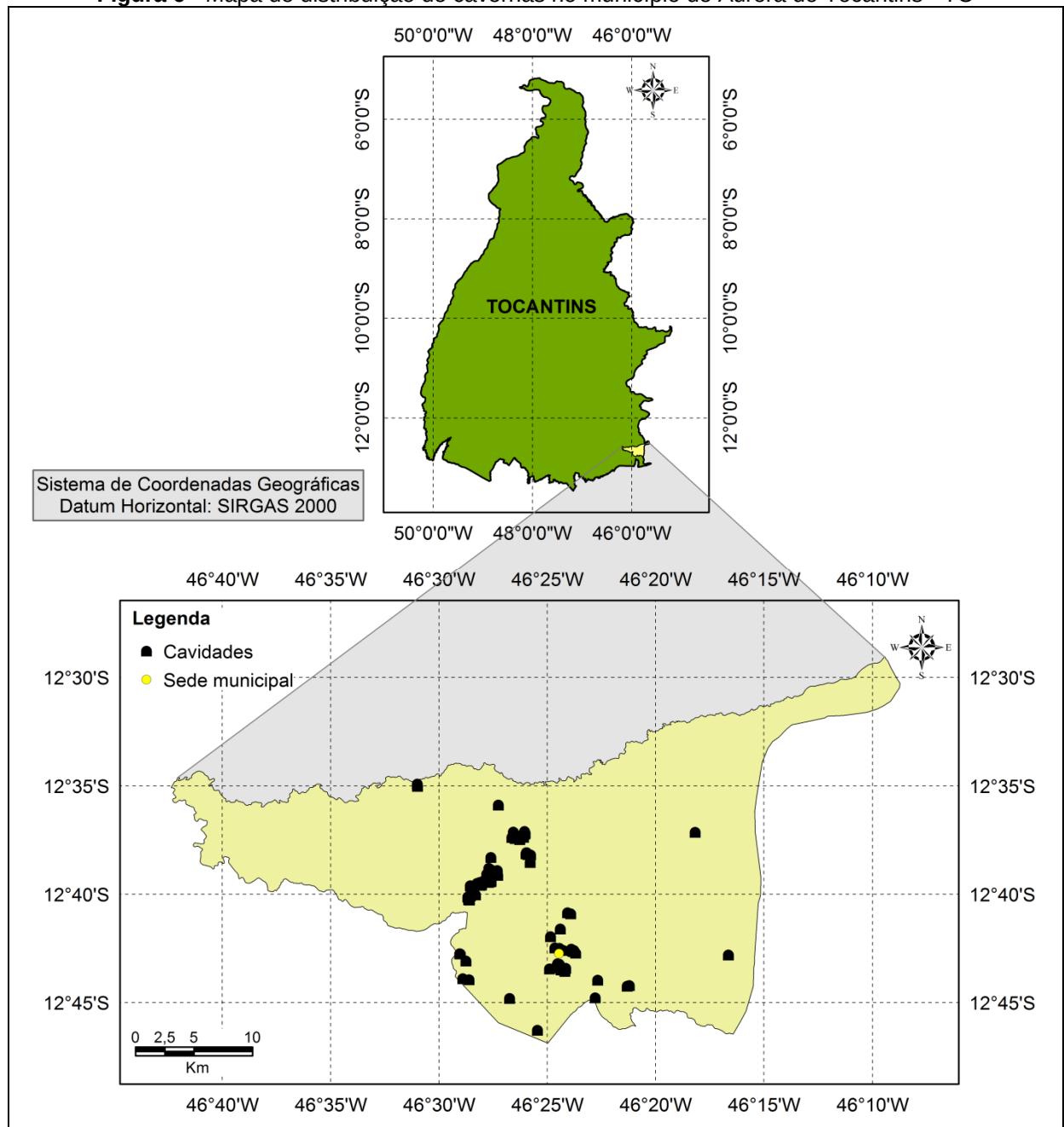
Figura 5 - Mapa de distribuição de cavernas no Estado do Tocantins

Fonte: Base de Dados Geoespacializados de Cavernas Naturais Subterrâneas do CECav, situação em 31 de agosto de 2014. Organizado pela autora.

O município de Aurora do Tocantins possui o quarto maior acervo de cavernas do Brasil e apresenta o maior potencial para ocorrência de cavernas no Estado do Tocantins (MORAIS, 2013; MÜLLER et al., 2013).

O laboratório de mastozoologia da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro tem realizado expedições paleontológicas periódicas às cavernas localizadas em Aurora do Tocantins com o objetivo de produzir um inventário de fósseis de mamíferos do Quaternário registrados em suas cavernas visando reconhecer os aspectos paleoclimáticos regionais. Nessas expedições, foram recuperados diversos fósseis de mamíferos, o que tem contribuído muito para o reconhecimento da biodiversidade pretérita da região norte do Brasil (PEREIRA et al., 2013; PÊGO et al., 2013; MÜLLER et al., 2013).

Figura 6 - Mapa de distribuição de cavernas no município de Aurora do Tocantins - TO



Fonte: Base de Dados Geoespacializados de Cavernas Naturais Subterrâneas do CECAV, situação em 31 de agosto de 2014. Organizado pela autora.

2.2 GEOTECNOLOGIAS

Para a realização do diagnóstico físico-conservacionista, proposto neste trabalho, foram utilizadas algumas geotecnologias como o sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica.

De acordo com Rosa (2006, p. 178), as geotecnologias consistem num "conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica [...] compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*". Ainda segundo o autor, as geotecnologias são também conhecidas como "geoprocessamento" e integram ferramentas bem eficientes para a tomada de decisão.

2.2.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia de obtenção de dados da superfície terrestre, à distância, por meio de sensores acoplados em plataformas terrestres, aéreas (aeronaves) ou orbitais (satélites artificiais) (FLORENZANO, 2002, 2008).

De acordo com o IBGE (1998, p. 53):

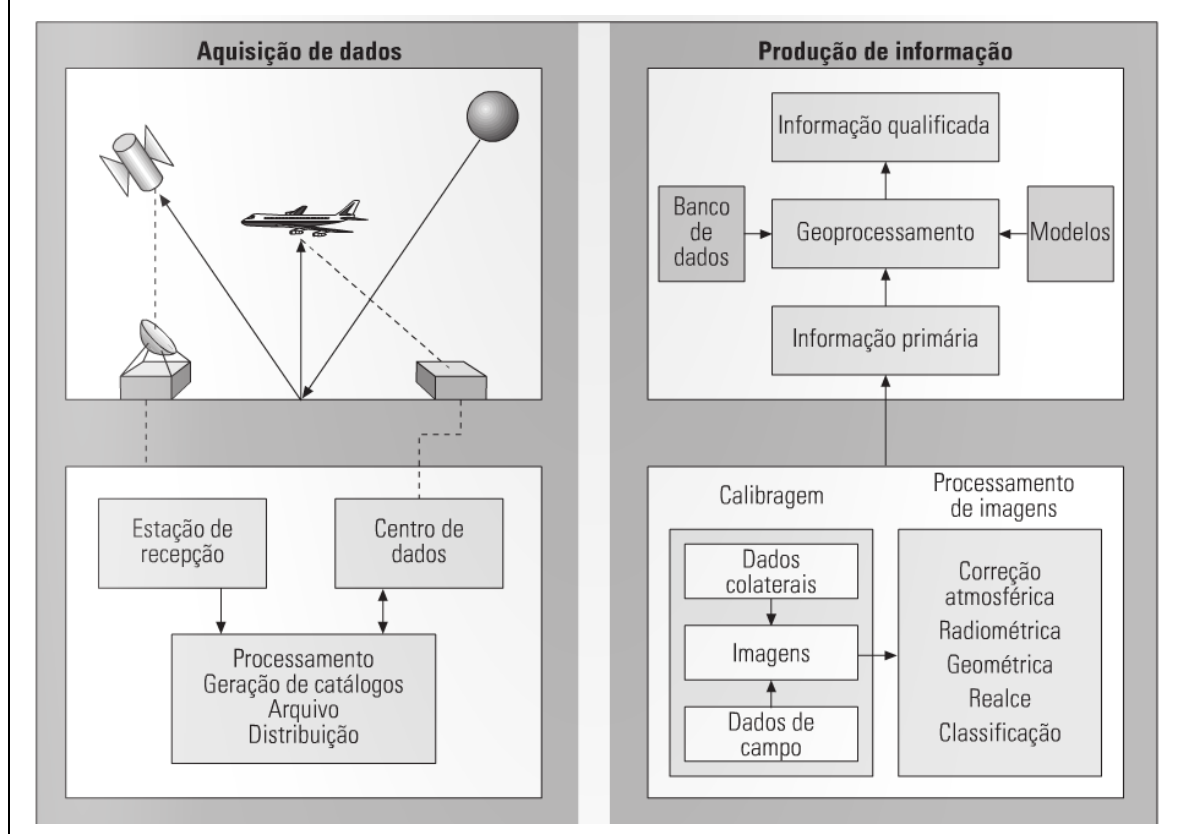
Entende-se por sensoriamento remoto a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves e etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações.

De acordo com Moreira (2007, p. 120), os sensores são definidos como "dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética [...] e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, forma gráfica ou qualquer outro produto".

O sensoriamento remoto pode ser dividido em dois grandes subsistemas: de aquisição de dados e de produção de informações. O primeiro subsistema é composto pelos componentes fonte de radiação, plataforma (satélite, aeronave), sensor e centro de dados (estação de recepção e processamento de dados de satélite e aeronave). O segundo subsistema é composto pelo sistema de aquisição

de informações de solo para calibragem dos dados de sensoriamento remoto, sistemas de processamento de imagens e sistemas de geoprocessamento (Figura 7) (NOVO, 2010).

Figura 7 - Subsistemas que compõem o sistema de informações derivadas de sensoriamento remoto



Fonte: Novo (2010)

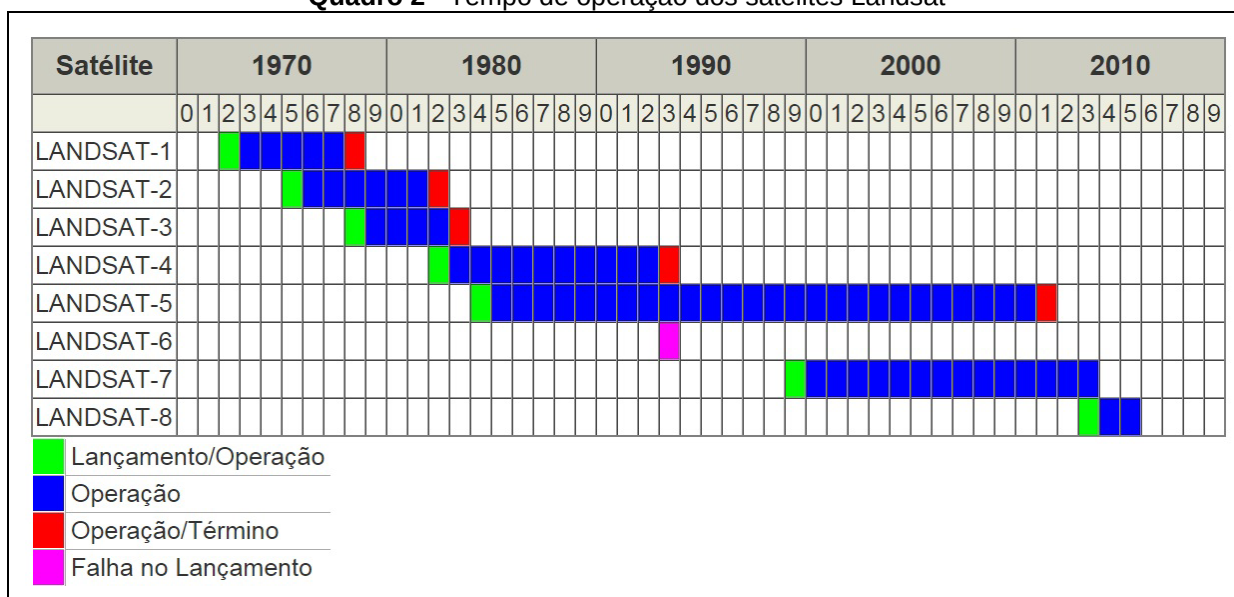
Existem vários programas de satélites que oferecem dados sobre a superfície terrestre, porém neste trabalho, foram abordados três: o programa Landsat, o programa ALOS e a constelação *RapidEye*. As imagens Landsat e ALOS podem ser adquiridas gratuitamente através do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As imagens *RapidEye*, por sua vez, foram adquiridas, também de forma gratuita, através do geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA), disponível apenas para instituições públicas, mediante a assinatura de um termo de compromisso pelo uso corporativo destas imagens.

2.2.2 Programa Landsat

Em 1965, foi proposto um programa de satélites de sensoriamento remoto para recolher dados sobre os recursos naturais do nosso planeta pelo então diretor do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), William Pecora. Porém, o departamento de defesa temia que um programa civil, como Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), comprometesse o sigilo de suas missões de reconhecimento. Existiam também preocupações geopolíticas sobre o monitoramento de países estrangeiros sem permissão prévia. Contudo, após muitas discussões, em 1970, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) foi autorizada a construir o satélite e no ano de 1972, o Landsat foi lançado (NASA, 2014).

O programa Landsat é composto, até o presente momento, por uma série de 8 satélites, gerenciado pela NASA e pelo USGS, sendo que o primeiro a ser lançado era denominado *Earth Resources Technology Satellite 1* (ERST-1) e, em janeiro de 1975, passou a ser chamado Landsat. Embora os satélites Landsat tenham sido projetados para uma vida média útil de 2 anos, estes operaram por um tempo muito maior, como por exemplo, o Landsat 5, lançado em 1984, ficando ativo até o ano de 2011 (Quadro 2) (NOVO, 2010; EMBRAPA, 2013).

Quadro 2 - Tempo de operação dos satélites Landsat



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2013)

Os satélites Landsat 2 e 3 foram considerados satélites experimentais, lançados em 1975 e 1978, respectivamente. Em 1982, o Landsat 4 começou a

operar com os sensores MSS (*Multispectral Scanner System*) e o TM (*Thematic Mapper*), especializado em recursos naturais. Na sequência, foi lançado o Landsat 5, no ano de 1984, com os mesmos sensores do Landsat 4. Dando continuidade à missão, projetou-se o Landsat 6 com o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), mas ocorreram falhas no seu lançamento, no ano de 1993, sendo lançado, seis anos mais tarde, o Landsat 7, com o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) a bordo, o qual ampliou sua resolução espacial. Por fim, em fevereiro de 2013, o Landsat 8 ou LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) foi lançado com os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) a bordo (EMBRAPA, 2013). O quadro 3 apresenta as principais características dos satélites da série Landsat.

Quadro 3 - Características dos satélites Landsat

Missão Land Remote Sensing Satellite (Landsat)								
Instituições Responsáveis	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)							
País/Região	Estados Unidos							
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center (KSC)
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Inativo (05/10/1993)	Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003)	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103 min	103 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min	99 min
Horário de Passagem	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	10:00 AM	1:40 PM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: EMBRAPA (2013)

2.2.2.1 Landsat 5

Há mais de 40 anos, o programa Landsat coleta informações espectrais da superfície terrestre e possibilitou a criação de um banco de dados histórico. Os sensores do Landsat têm média resolução espacial, suficiente para análise da cobertura global e também para caracterizar processos como o crescimento urbano (NASA, 2014).

O Landsat 5 foi lançado no ano de 1984, com os sensores TM e MSS a bordo, porém em 1995, o sensor MSS parou de enviar dados. Em contrapartida, o sensor TM permaneceu ativo até novembro de 2011, alcançando uma marca de 28 anos em operação. O sensor MSS foi religado posteriormente, passando a coletar somente imagens dos Estados Unidos (EMBRAPA, 2013).

De acordo com o INPE-DPI (2014), o sensor TM pode ser caracterizado com "um sistema de varredura multiespectral concebido para obter melhor resolução espacial, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação ao sensor MSS".

O sensor TM do satélite Landsat 5 possui sete bandas espectrais (Quadro 4), cuja resolução espacial é de 30 metros, com exceção da banda 6, que apresenta 120 metros de resolução. A resolução temporal do Landsat 5 é de 16 dias e cada cena captada pelo satélite abrange uma área de 185 x 185 km (INPE-DGI, 2014).

Quadro 4 - Principais características e aplicações das bandas do sensor TM do satélite Landsat 5

Banda	Intervalo espectral (μm)	Características e aplicações
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícola.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: INPE-DGI (2014)

2.2.3 Satélite ALOS

O programa japonês de observação por satélites ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi criado com o intuito de favorecer o mapeamento preciso da cobertura da terra e o monitoramento de desastres e de recursos naturais (JAXA, 2014).

De acordo com a EMBRAPA (2013), o satélite ALOS foi lançado, em janeiro de 2006, com três sensores a bordo:

O radiômetro PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre; o radiômetro multiespectral AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*) voltado aos mapeamentos de uso e cobertura das terras e o sensor de micro-ondas PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade.

O quadro 5 apresenta um detalhamento das principais características do satélite ALOS.

Quadro 5 - Características do satélite ALOS

Missão Advanced Land Observing Satellite (ALOS)	
Instituições Responsáveis	Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA
País/Região	Japão
Satélite	ALOS - Daichi
Lançamento	24/01/2006
Local de Lançamento	Tanegashima Space Center
Veículo Lançador	H-IIA 8
Situação Atual	Desativado em 2011
Órbita	heliossíncrona
Altitude	691,65 km
Inclinação	98,16°
Tempo de Duração da Órbita	98,7 min
Horário de Passagem	10:30 A.M.
Período de Revisita	46 dias
Tempo de Vida Projetado	3 a 5 anos
Instrumentos Sensores	PRISM, AVNIR-2 e PALSAR

Fonte: EMBRAPA (2013)

O IBGE, através do projeto "Base Cartográfica 1:100.000 (BC100)", disponibiliza em seu *site*, imagens ortorretificadas³, ortomosaicos e cartas-imagem de diversas unidades da Federação, obtidas pelo sensor AVNIR-2 do satélite ALOS, visando atender à demanda por informações atualizadas e compatíveis com a escala de representação de 1:100.000. As imagens deste sensor têm resolução espacial de 10 metros, em quatro bandas do espectro (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) (Quadro 6) e foram adquiridas entre os anos de 2006 e 2010 (IBGE, 2014b).

As imagens ALOS têm tido uma boa aceitação por grande parte da comunidade usuária de sensoriamento remoto, incluindo o IBGE, devido ao seu custo inferior quando comparado ao custo de outras imagens com as mesmas características e qualidade. Devido à sua resolução espacial de 10 metros e sua capacidade multiespectral, as imagens do sensor AVNIR-2 apresentam grande potencial de uso para mapeamento topográfico e mapeamento temático (IBGE, 2011).

O sensor AVNIR-2, desenvolvido para mapeamentos temáticos com ênfase em uso e cobertura da terra, consiste num radiômetro que opera nas regiões do visível e do infravermelho. Sucessor do AVNIR, este sensor esteve a bordo do satélite ADEOS-I (*Advanced Earth Observing Satellite 1*), lançado em 1996 (EMBRAPA, 2013).

Quadro 6 - Características do sensor AVNIR-2

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
AVNIR-2	1	0.42-0.50 μm	10 m	8 bits	70 km (nadir)
	2	0.52-0.60 μm			
	3	0.61-0.69 μm			
	4	0.76-0.89 μm			

Fonte: EMBRAPA (2013)

³ "As imagens ortorretificadas passam por um processo de correção em relação a diversas deformações geométricas, causadas por diferentes fatores, como o ângulo de aquisição da imagem, o relevo, a curvatura e a rotação da Terra" (IBGE, 2014b).

2.2.4 Constelação *RapidEye*

A constelação *RapidEye* é composta por 5 microsatélites que capturam imagens da Terra em cinco bandas espectrais através dos sensores REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) com resolução radiométrica de 12 bits (4096 níveis de cinza). Além das bandas azul, vermelho, verde e infravermelho próximo, esse sensor possui uma banda adicional denominada *RedEdge*, a qual detecta alterações no teor de clorofila da vegetação. As imagens obtidas através dos sensores REIS possuem resolução espacial de 5 metros (ortorretificadas) e resolução temporal de 24 horas (*off-nadir*) e 5,5 dias (nadir) conforme demonstra o quadro 7 (EMBRAPA, 2013).

Quadro 7 - Características dos satélites *RapidEye*

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada	Resolução Radiométrica
REIS (RapidEye Earth Imaging System)	Azul	440 - 510 nm	6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens	24 horas (<i>off-nadir</i>) e 5,5 dias (nadir)	77,25 km	12 bits
	Verde	520 - 590 nm				
	Vermelho	630 - 690 nm				
	Red-Edge	690 - 730 nm				
	Infravermelho próximo	760 - 880 nm				

Fonte: EMBRAPA (2013)

As imagens *RapidEye* foram adquiridas através do geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente. O Programa de Regularização Ambiental instituído pelo decreto presidencial nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, prevê a disponibilização de imagens destinadas ao mapeamento das propriedades e posses rurais visando a composição de uma base de dados do sistema de informações geográficas do Sistema de Cadastro Ambiental Rural, para implantação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Dessa forma, a disponibilização de informações georreferenciadas dos imóveis rurais possibilita um diagnóstico ambiental dessas áreas (BRASIL, 2014).

2.2.5 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas em Ambientes Cársticos

Num passado recente, as informações sobre o espaço geográfico somente podiam ser obtidas através de documentos e mapas em papel, o que dificultava as análises que necessitassem da combinação de diversos dados e mapas. A partir da evolução da informática, foi possível promover essa combinação, possibilitando também o armazenamento e a representação dessas informações em um ambiente computacional, por meio de geoprocessamento (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Segundo Câmara e Davis (2001, p. 1):

O termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

De acordo com Moreira (2007), qualquer sistema de informação geográfica permite inserir e integrar informações espaciais como cartografia, imagens de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes e de Modelo Numérico de Terreno (MNT) em uma única base de dados, oferecendo mecanismo para combinar estas informações por meio de algoritmos de manipulação, análise, consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados.

Para Hardt (2011), os Sistemas de Informações Geográficas constituem ferramenta importante no auxílio aos estudos sobre o relevo e seu desenvolvimento devido à facilidade de gerenciar um grande quantitativo de dados, elaborar modelos qualitativos e quantitativos, possibilitando ainda, a visualização de dados espaciais e temporais de uma determinada região, especialmente em áreas cársticas.

Para Szukalski (2002), o sistema de informação geográfica proporciona uma melhor interpretação da distribuição espacial da informação geográfica e embora já venha sendo utilizado há décadas em outras áreas do conhecimento, sua aplicação para gerenciamento de áreas cársticas e cavernas é relativamente nova. Ainda

segundo ele, o sistema de informação geográfica é utilizado para integrar e gerenciar diferentes tipos de dados de terrenos cársticos, proporcionando a criação de mapas de alta qualidade que incorporam diversas camadas de informação, demonstrando-se eficaz em vários aspectos, inclusive na capacidade de conhecimento sobre o carste e as cavernas, o que favorece a tomada de decisões.

De acordo com Carvalho Júnior et al. (2008), o sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica (SIG) consistem em instrumentos essenciais para identificar zonas físicas e bióticas heterogêneas do ambiente cárstico, além de promover também, a mensuração de graus de preservação e/ou degradação ambiental, permitindo uma remontagem da evolução histórica e a previsão de cenários futuros, favorecendo a reflexão e a formulação de políticas públicas.

2.3 DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA

A metodologia do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC), proposta por Beltrame (1994), foi elaborada com base em trabalhos desenvolvidos pelo Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras (CIDIAT/Venezuela) e pelo Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MARNR) da Venezuela. O objetivo desta metodologia era compor um subsídio metodológico aos trabalhos de empresas estatais e privadas, bem como de alunos de graduação e pós-graduação que atuam no planejamento conservacionista de recursos naturais renováveis.

Vários trabalhos acadêmicos, como Leite (2007), Carvalho (2004), Paz (2013) e Venturim (2011), aplicaram o diagnóstico físico-conservacionista visando o estudo do potencial de proteção ou de degradação de bacias hidrográficas. Estes autores apontaram a eficiência na aplicação da metodologia e ressaltaram a necessidade de adaptações devido às peculiaridades de cada bacia hidrográfica.

Leite (2007) considerou eficiente a metodologia do DFC para a avaliação da degradação física da microbacia do córrego Vilas Boas (Miranda-MS), ressaltando que foram necessárias algumas adaptações, como a determinação do parâmetro de cobertura vegetal original (CO) por levantamentos fitogeográficos e a determinação do parâmetro de declividade média (DM) através do *software* SPRING.

Carvalho (2004) também considerou a eficiência do DFC na avaliação da bacia do rio Quebra-Perna (Ponta Grossa-PR), apesar da necessidade de

adequações em função das peculiaridades da área de estudo, onde enfatizou a importância do aperfeiçoamento e do incremento de soluções para a obtenção de determinados índices dos parâmetros. Ressaltou ainda, dificuldades na aplicação do DFC, uma vez que o mesmo exige conhecimentos multidisciplinares. A autora afirma também que esta metodologia consiste num diagnóstico preliminar que serve como embasamento para os demais estudos que compõem o Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica (DIBH). Essa metodologia sugere uma equipe multi e interdisciplinar com a participação dos governos e/ou instituições ligadas ao meio ambiente e da população. Ainda segundo a autora, são sete diagnósticos inter-relacionados: Diagnóstico Físico Conservacionista, Diagnóstico Socioeconômico, Diagnóstico Recurso Solo, Diagnóstico do Recurso Água, Diagnóstico Recurso Vegetação, Diagnóstico Recurso Fauna e o Diagnóstico de Contaminação Ambiental. Segundo Beltrame (1994), a metodologia venezuelana abrange um conjunto de outros diagnósticos (socioeconômico, água, fauna, solo e outros) que compõem o Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica.

Paz (2013) destacou a dificuldade na determinação da data de referência para o parâmetro cobertura vegetal original, proposta na metodologia do DFC, devido à inexistência de dados relativos à vegetação anterior à ocupação da área. O autor afirmou também que a ausência de dados climáticos de determinadas localidades pode comprometer o resultado do diagnóstico físico-conservacionista.

Venturim (2011) pontuou que a utilização de SIG's proporciona praticidade e eficiência no diagnóstico físico-conservacionista, especialmente na identificação e delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP), no estudo do uso da terra e também na estimativa de perda de solo.

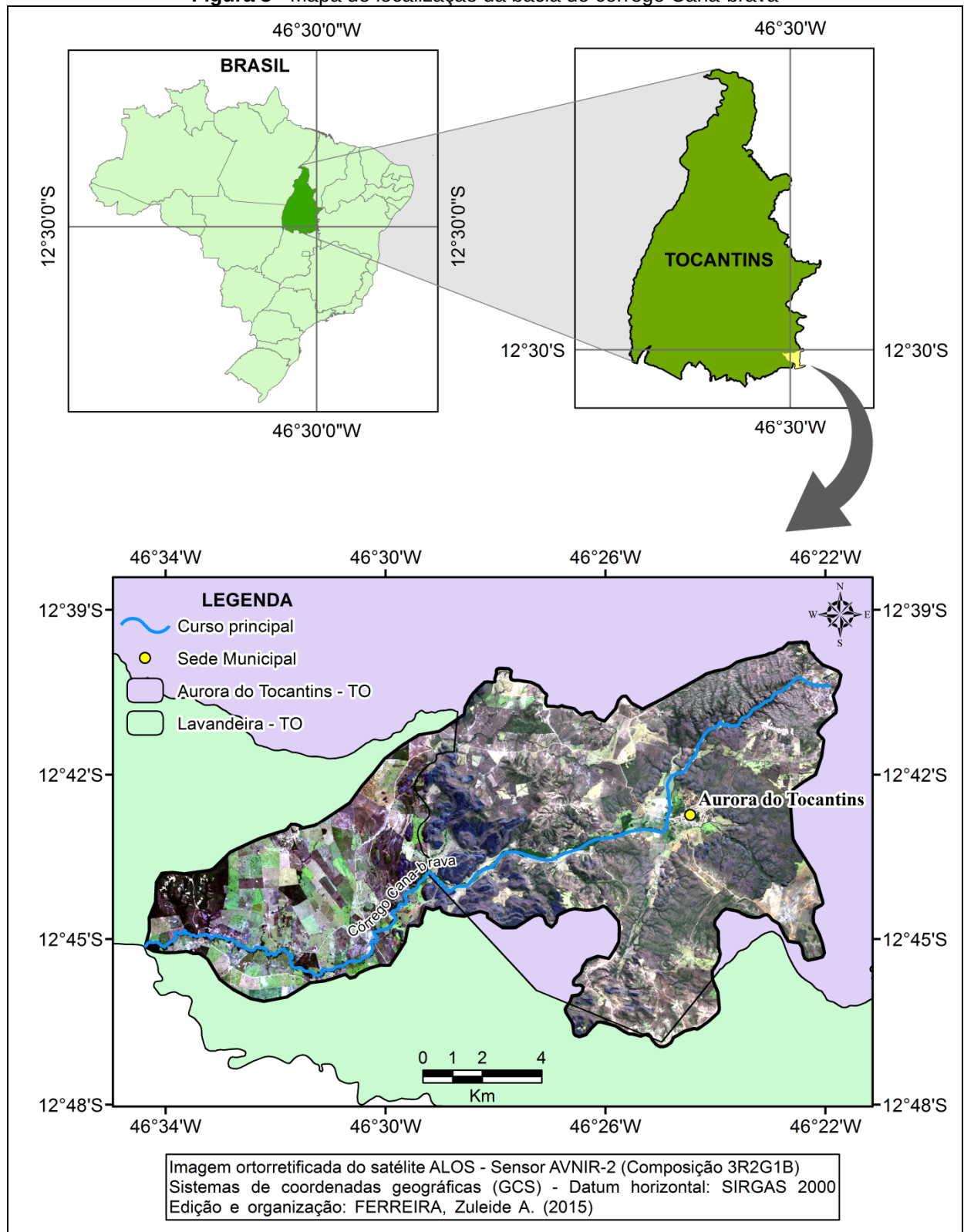
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do córrego Cana-brava está inserida nos municípios de Aurora do Tocantins e Lavandeira. Situada num ambiente cárstico, esta bacia possui uma área de 160,69 km², estando compreendida pelos paralelos de 12°39'30" e 12°47'00" de latitude sul e os meridianos 46°21'30" e 46°34'30" de longitude oeste (Figura 8). Para delimitação da bacia do córrego Cana-brava, foram utilizados os dados de hidrografia da Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN-TO, 2012b), os dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtidos a partir do Projeto Topodata de Valeriano (2005) e as cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (Figura 9).

O município de Aurora do Tocantins possui uma área de 752,830 km² com população de 3.446 habitantes (IBGE, 2014c) e está situado a aproximadamente 500 km da capital Palmas, na região sudeste do Tocantins. Através da lei estadual nº 4718, de 29 de outubro de 1963, Aurora do Norte foi desmembrada de Taguatinga e elevada à categoria de município, sendo posteriormente denominada Aurora do Tocantins pelo decreto legislativo nº 1, de 01 de outubro de 1989, art. 4º, do Diário Oficial do Estado do Tocantins (IBGE, 2014a).

Após ser desmembrado do município de Aurora do Tocantins, o município de Lavandeira, criado em 19 de dezembro de 1995, foi instalado em 1º de janeiro de 1997. De acordo com os dados do IBGE (2014d), Lavandeira possui atualmente uma população de 1.605 habitantes e ocupa uma área de 519,614 km².

Figura 8 - Mapa de localização da bacia do córrego Cana-brava

Fonte: Elaborado pela autora

3.1.1 Clima

De acordo com a SEPLAN-TO (2012a, p. 20), a regionalização climática do Estado do Tocantins foi elaborada conforme o Método de Thornthwaite, onde foram considerados "os índices representativos de umidade, aridez e eficiência térmica (evapotranspiração potencial) derivados diretamente da precipitação, da temperatura e dos demais elementos resultantes do balanço hídrico de Thornthwaite-Mather".

Segundo os dados da SEPLAN-TO (2012b), a área da bacia do córrego Cana-brava apresenta temperatura média anual variando entre 26 e 27 °C e um tipo climático C1dA'a' (clima subúmido seco) que, de acordo com a classificação de Thornthwaite, é caracterizado como:

Subúmido seco, com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.300 mm, distribuindo-se no verão em torno de 360 mm, ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (SEPLAN-TO, 2013, p. 36).

A cidade de Aurora do Tocantins está localizada na região sudeste do Estado. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH-TO, 2015a), esta região apresenta um dos menores índices pluviométricos registrados no Tocantins, aonde vêm sendo constatados períodos de estiagem cada vez mais longos, o que tem potencializado o regime de intermitência dos cursos d'água locais. De acordo com a SEMARH-TO (2015b), a presença de rios intermitentes e a carência de obras de infraestrutura na localidade comprometem a segurança hídrica e sanitária da população, uma vez que, as condições precárias das moradias da zona rural dificultam a construção de obras de captação de água. Além disso, a falta de condições sanitárias, como água encanada e esgoto, representa situação de alta vulnerabilidade à contaminação das fontes de abastecimento da população rural.

Atualmente, a Agência Tocantinense de Saneamento (ATS), em parceria com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, vem tomando medidas para diminuir os efeitos da estiagem através do Programa Água Mais Perto de Você, cujo

objetivo consiste em garantir o abastecimento hídrico à população dos 27 municípios que compõem a região sudeste do Tocantins (TOCANTINS, 2015).

3.1.2 Hidrografia

O mapa de hidrografia da bacia do córrego Cana-brava foi obtido através da vetorização dos cursos d'água visíveis na imagem *RapidEye*, tendo como apoio a hidrografia da SEPLAN-TO (2012b) e o modelo digital de elevação do projeto Topodata (VALERIANO, 2005).

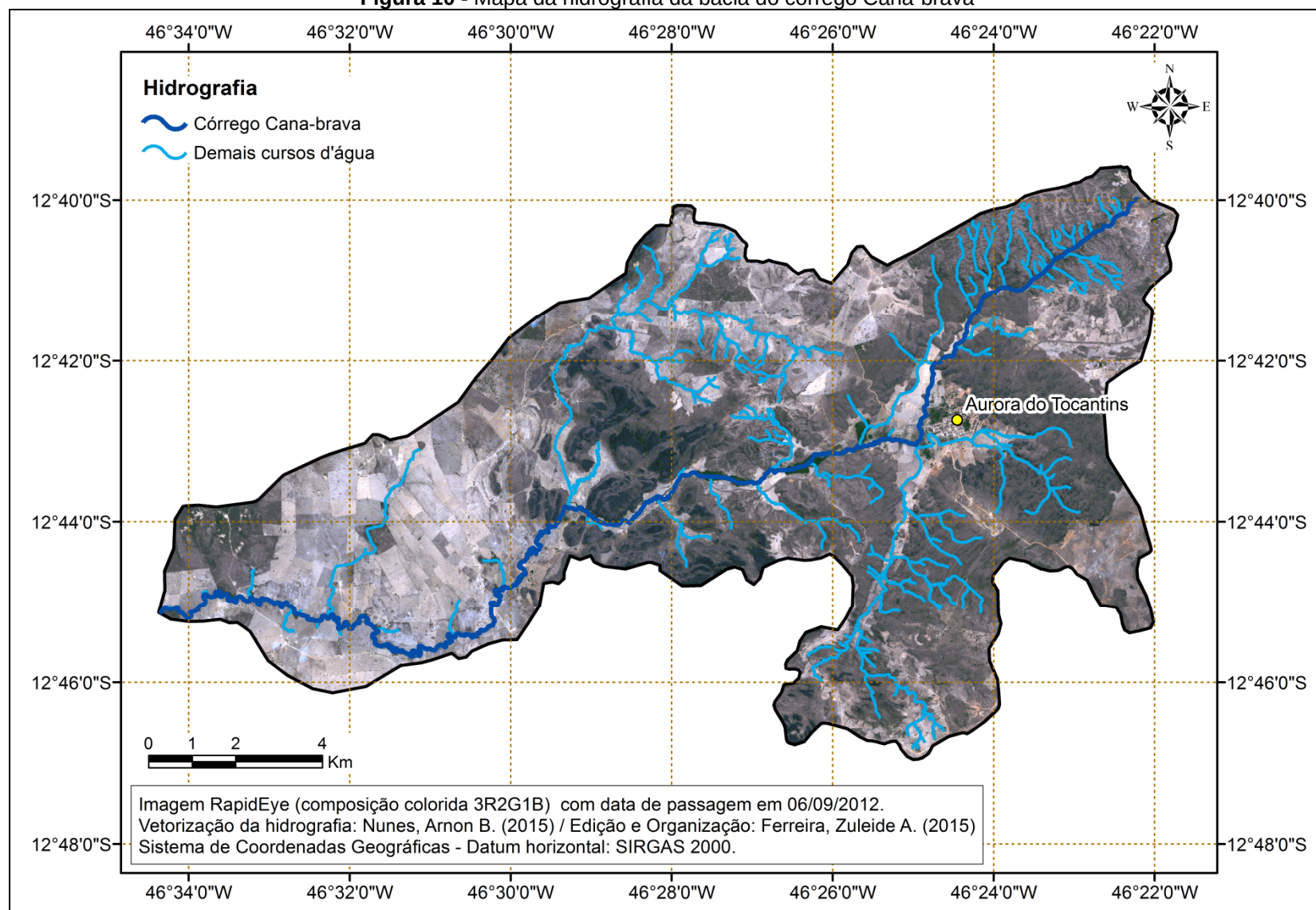
A bacia do córrego Cana-brava é constituída por 235 canais que compõem um perímetro de 190,09 km de extensão. A hierarquia fluvial da bacia foi classificada conforme a metodologia de Strahler (1952), onde foram listados 164 canais de 1ª ordem, 50 canais de 2ª ordem, 12 canais de 3ª ordem, 8 canais de 4ª ordem e 1 canal de 5ª ordem, conforme demonstra a tabela 2. A hidrografia e a hierarquia da bacia do córrego Cana-brava são demonstradas nas figuras 10 e 11, respectivamente.

Tabela 2 - Análise linear da rede hidrográfica do córrego Cana-brava

Ordem	Quantidade de Canais	Extensão (m)	Extensão Média (m)	Extensão (km)
1ª ordem	164	86.265,38	526,01	86,27
2ª ordem	50	39.872,98	797,46	39,87
3ª ordem	12	18.731,96	1.561,00	18,73
4ª ordem	8	17.409,06	2.176,13	17,41
5ª ordem	1	27.814,28	27.814,28	27,81
TOTAL	235	190.093,66	808,91	190,09

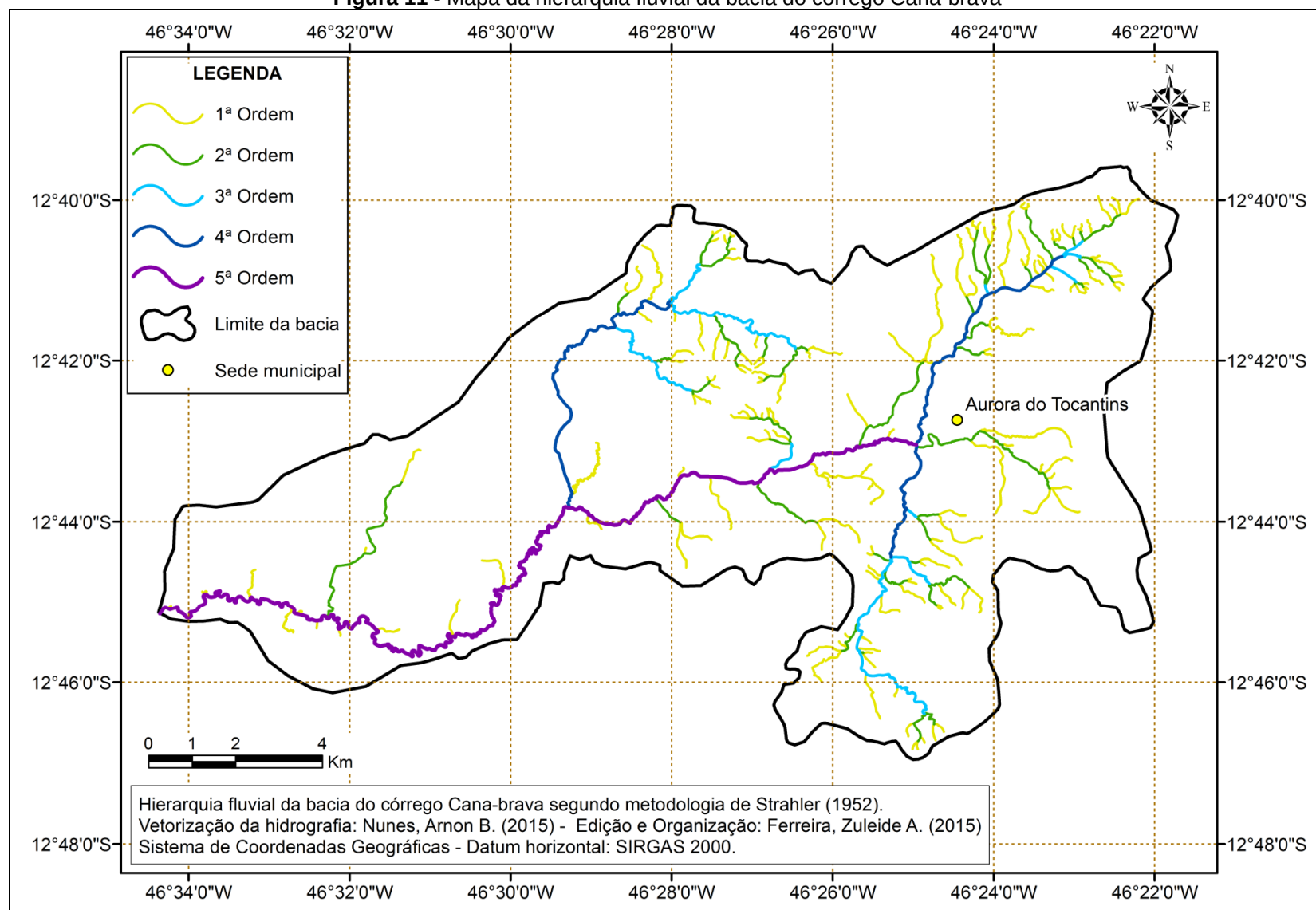
Fonte: Elaborada pela autora conforme Christofolletti (1980)

Figura 10 - Mapa da hidrografia da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 11 - Mapa da hierarquia fluvial da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora

3.1.3 Setorização da bacia do córrego Cana-brava

Visando proporcionar uma análise ambiental mais detalhada da bacia do córrego Cana-brava, foi necessária a setorização da mesma (Figura 12), a qual consistiu na subdivisão da bacia em três setores, conforme a metodologia de Beltrame (1994). Para isto, foram utilizados critérios hidrográficos, o Modelo Digital de Elevação Topodata (Figura 13), o mapa hipsométrico (Figura 14), o relevo sombreado (Figura 15) e o perfil longitudinal do canal principal (Figura 16).

O setor A constitui o alto curso do córrego Cana-brava, com área de 68,59 km², representando 42,9% da área total da bacia, onde está situada a sede do município de Aurora do Tocantins. Neste setor, as altitudes variam entre 450 e 700 metros, com predominância de declividade média em torno de aproximadamente 10%.

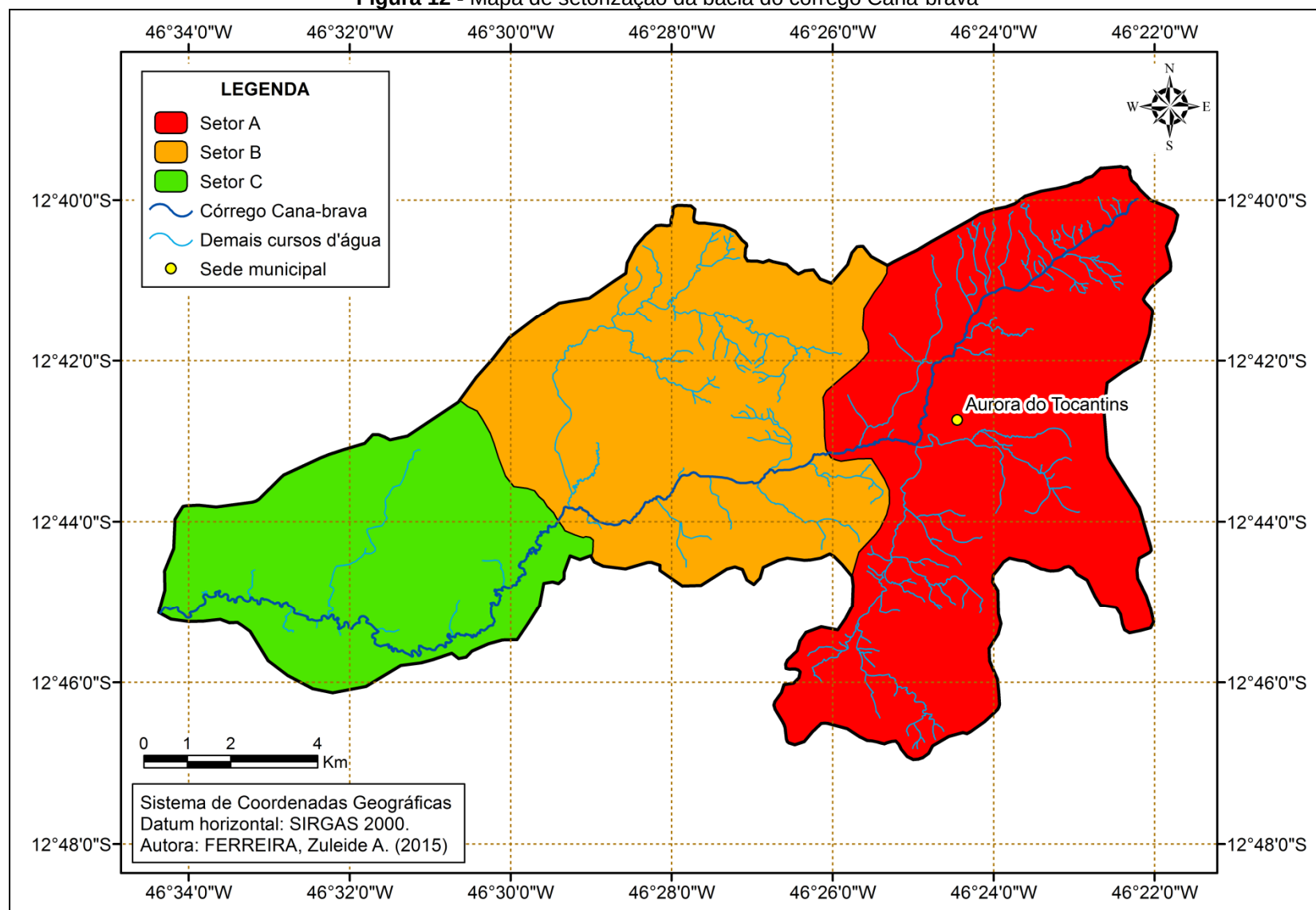
O setor B possui uma área de 54,17 km², ocupa 33,71% da área total da bacia e corresponde ao médio curso da bacia do córrego Cana-brava. Suas altitudes variam entre 420 e 670 metros e declividade média de aproximadamente 16%. Este setor apresenta maior declividade em função da presença de grandes afloramentos rochosos na região.

Com uma área de 37,93 km², abrangendo 23,60% da área total, o setor C constitui o baixo curso da bacia, com altitudes que variam de 390 a 460 metros e declividade média de aproximadamente 4%. A tabela 3 demonstra a proporção espacial da setorização da bacia do córrego Cana-brava.

Tabela 3 - Distribuição espacial da setorização da bacia do córrego Cana-brava

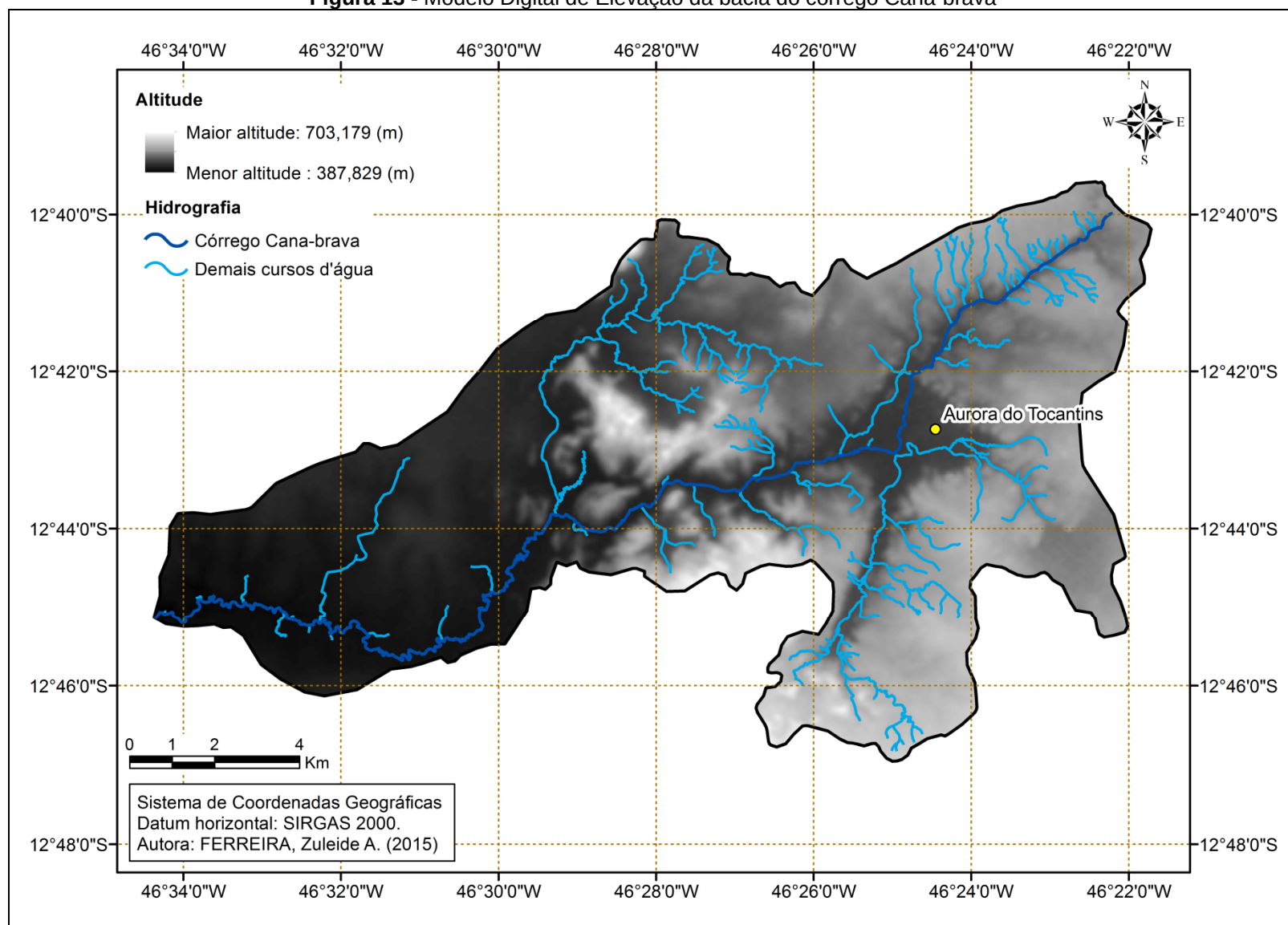
Setor	Área (km²)	Percentual (%)
A	68,59	42,69
B	54,17	33,71
C	37,93	23,60
TOTAL	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 12 - Mapa de setorização da bacia do córrego Cana-brava

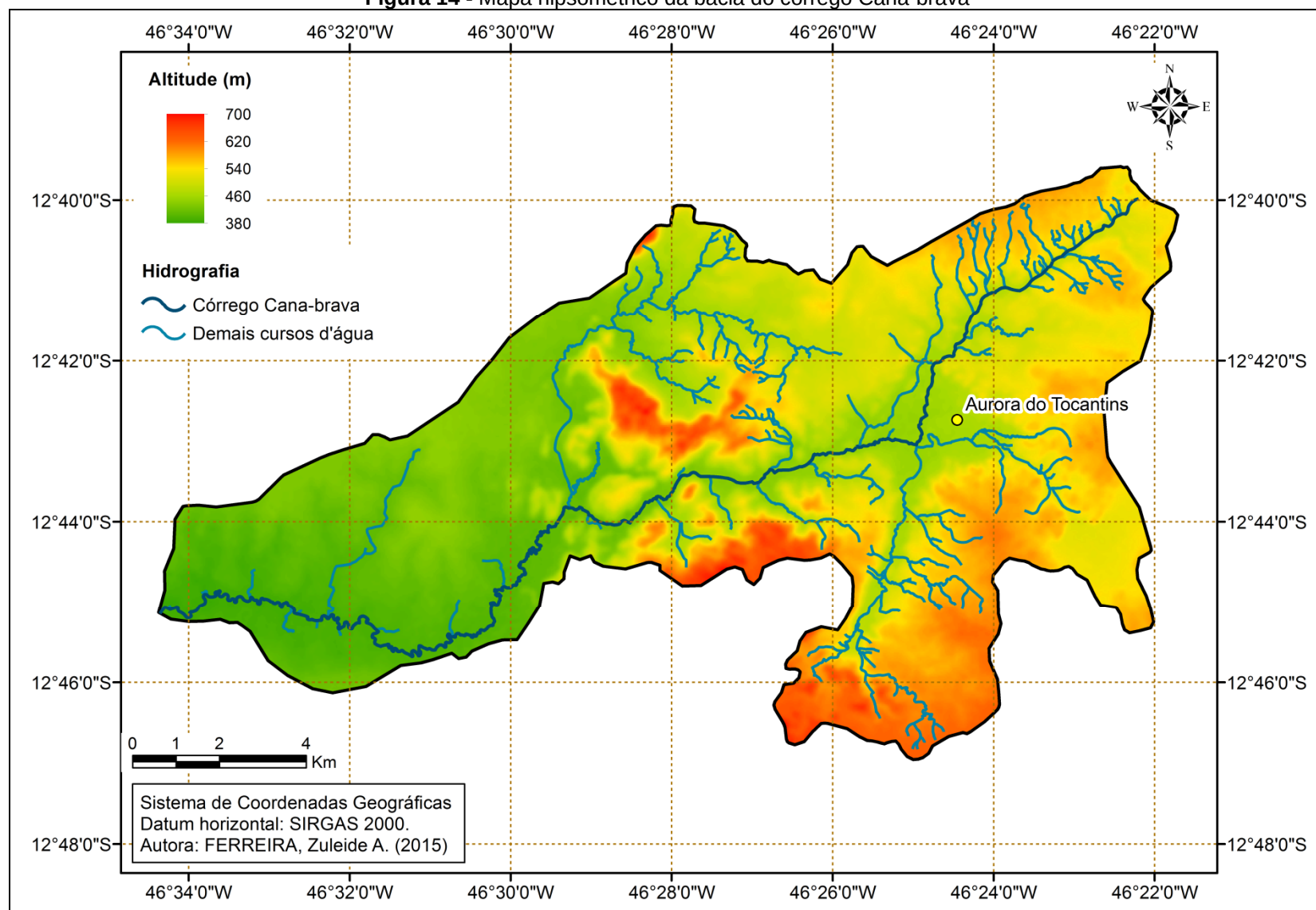
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13 - Modelo Digital de Elevação da bacia do córrego Cana-brava



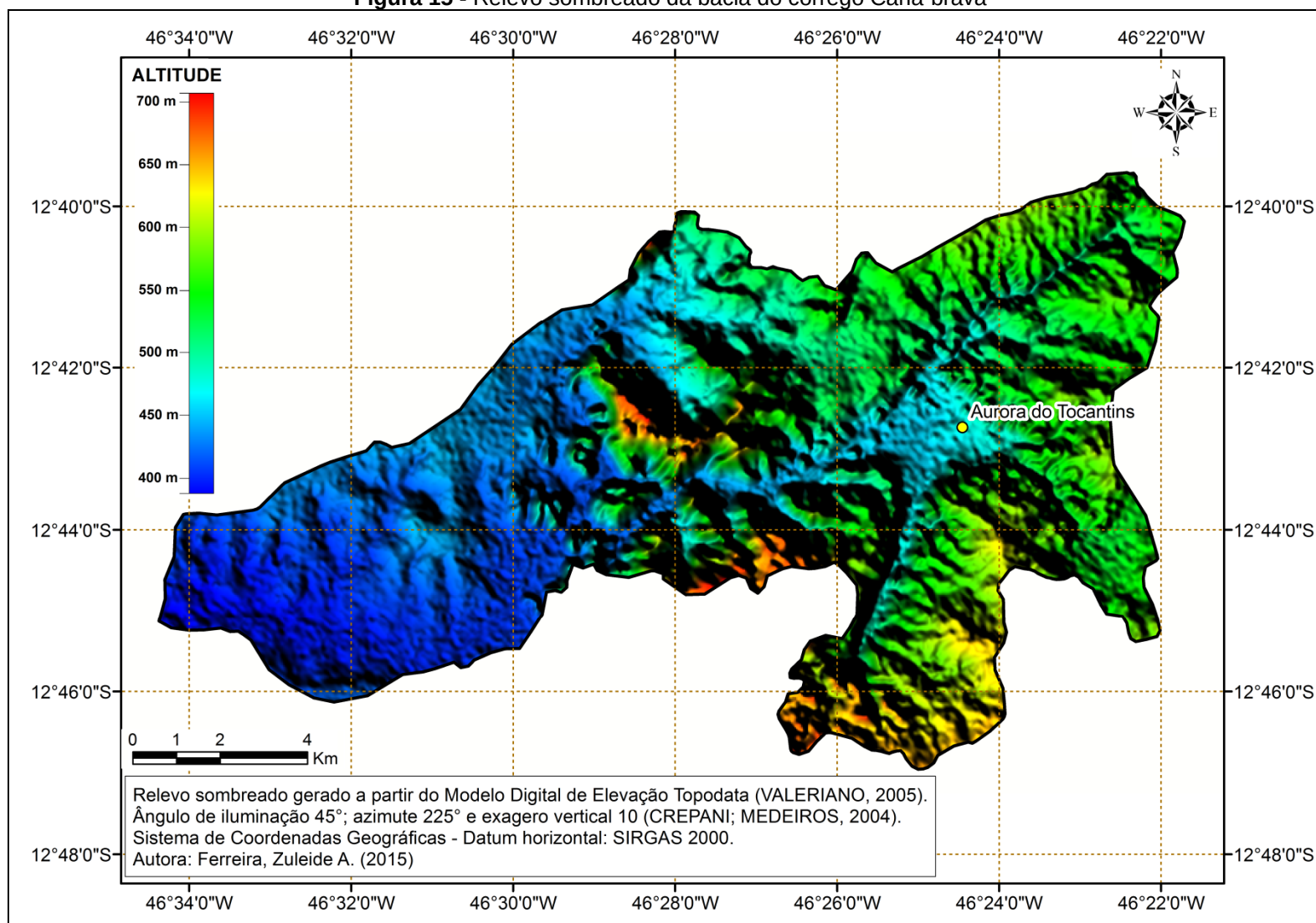
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do projeto Topodata (VALERIANO, 2005)

Figura 14 - Mapa hipsométrico da bacia do córrego Cana-brava



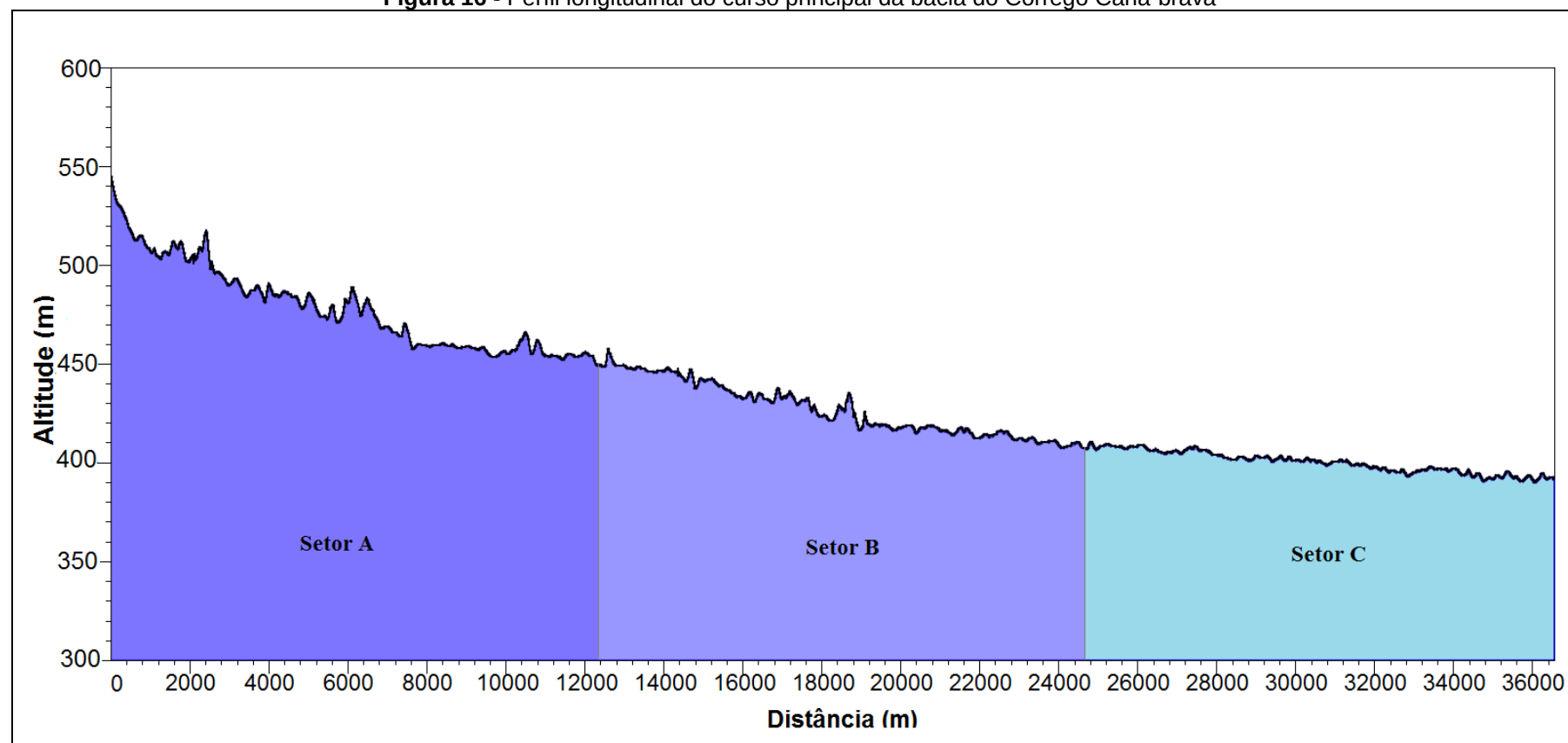
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do projeto Topodata (VALERIANO, 2005)

Figura 15 - Relevo sombreado da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 16 - Perfil longitudinal do curso principal da bacia do Córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora

3.2 APLICAÇÃO DO DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA

De acordo com Beltrame (1994), apesar de genérica, a metodologia do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) é altamente abrangente e prática, uma vez que fornece indicativos concretos para o manejo e uso racional de recursos naturais renováveis da bacia hidrográfica.

Para aplicação do DFC devem ser analisados os parâmetros potenciais de proteção ou degradação dos recursos naturais renováveis da bacia hidrográfica. De acordo com esta metodologia, devem ser considerados quatro grandes fatores potenciais naturais de degradação física. A partir destes fatores, posteriormente são definidos sete parâmetros componentes da fórmula descritiva do estado físico-conservacionista da bacia hidrográfica (Quadro 8).

Quadro 8 - Fatores potenciais naturais de degradação física

Fatores potenciais naturais de degradação física	Aspectos a serem considerados
I - Vegetação	a) Grau de semelhança entre a cobertura vegetal original (1986) e atual (2011) dos setores da bacia (parâmetro CO); b) Grau de proteção da cobertura vegetal fornecido ao solo (parâmetro CA).
II - Clima	a) Erosividade da chuva (parâmetro E); b) Balanço hídrico dos setores da bacia (parâmetro BH).
III - Características geológicas e pedológicas	a) Suscetibilidade da textura à erosão, associada à declividade (parâmetro PE); b) Densidade de drenagem (parâmetro DD).
IV - Características do relevo	Declividade média (parâmetro DM)

Fonte: Beltrame (1994)

Os sete parâmetros componentes da fórmula descritiva do estado físico-conservacionista da bacia hidrográfica definidos a partir dos fatores potenciais naturais de degradação dos recursos renováveis são expressos através de uma fórmula descritiva que estabelece o risco de degradação física de uma bacia. Deste modo, os parâmetros observados definirão numericamente o risco de degradação física da bacia do córrego Cana-brava.

3.2.1 Determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) e cobertura vegetal atual (CA)

Segundo Beltrame (1994), a cobertura vegetal consiste num elemento determinante para a manutenção dos recursos naturais renováveis, sendo fundamental para a manutenção do ciclo da água, uma vez que diminui o escoamento superficial, aumenta a porosidade e permeabilidade do solo, oferece proteção contra os impactos das gotas da chuva e mantém a umidade e fertilidade do solo.

Para a determinação dos parâmetros de cobertura vegetal original (CO) e cobertura vegetal atual (CA) foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto como a classificação supervisionada e a determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de imagens captadas pelo sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5. Cabe salientar que, a escolha deste sensor ocorreu porque este foi o que permaneceu por mais tempo em operação, sendo que as imagens mais antigas da área de estudo disponibilizadas no *site* do INPE datam de 1984 e as mais recentes são do ano de 2011. Para se trabalhar com quinquênios e com a imagem mais recente disponibilizada por este sensor, foram selecionadas imagens dos anos de 1986, 1991, 1996, 2001, 2006 e 2011. Além disso, as imagens precisavam estar livres da cobertura de nuvens, o que dificultaria a análise das mesmas e por isso foram selecionadas imagens dos meses de junho a agosto.

Após a aquisição das imagens Landsat no *site* do INPE, as mesmas foram georreferenciadas e recortadas com o uso do *software* SPRING na sua versão 5.2.6, utilizando como base para o georreferenciamento o ortomosaico ALOS, disponibilizado pelo *site* do IBGE.

Em sua metodologia, Beltrame (1994) optou pela classificação supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER), todavia este método utiliza técnicas de classificação multiespectral "pixel a pixel" que, segundo INPE-DPI (2015), emprega apenas a informação espectral de cada pixel para achar regiões homogêneas.

De acordo com Moreira (2007), a classificação pixel a pixel apresenta certa dificuldade na etapa de aquisição das amostras de pixels puros representativos de cada classe espectral. Por outro lado, os classificadores por regiões possibilitam a identificação de áreas homogêneas na imagem, uma vez que, "utilizam, como

critério de decisão, a informação espectral de cada pixel da imagem e a informação espacial que envolve a relação entre o pixel e seus vizinhos" (MOREIRA, 2007, p. 292).

Para a determinação do tipo de classificador a ser utilizado, foram feitos alguns testes, sendo que a classificação não supervisionada não ofereceu bons resultados. Diante destes fatos, optou-se então, pela classificação supervisionada por regiões (segmentação de imagens). Desta forma, para a análise multitemporal do uso da terra na área da bacia do córrego Cana-brava, foi utilizado o classificador *Bhattacharya* com limiar de aceitação de 99,9%.

3.2.1.1 Análise multitemporal do uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava

Para a análise multitemporal do uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava, foram definidas classes de uso da terra conforme a Base de Dados da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Estado do Tocantins disponibilizada pela SEPLAN-TO (2010). De acordo esta base de dados, as classes de uso da terra presentes na área de estudo são: agropecuária, campo rupestre, cerrado sentido restrito, mata de galeria e área urbanizada.

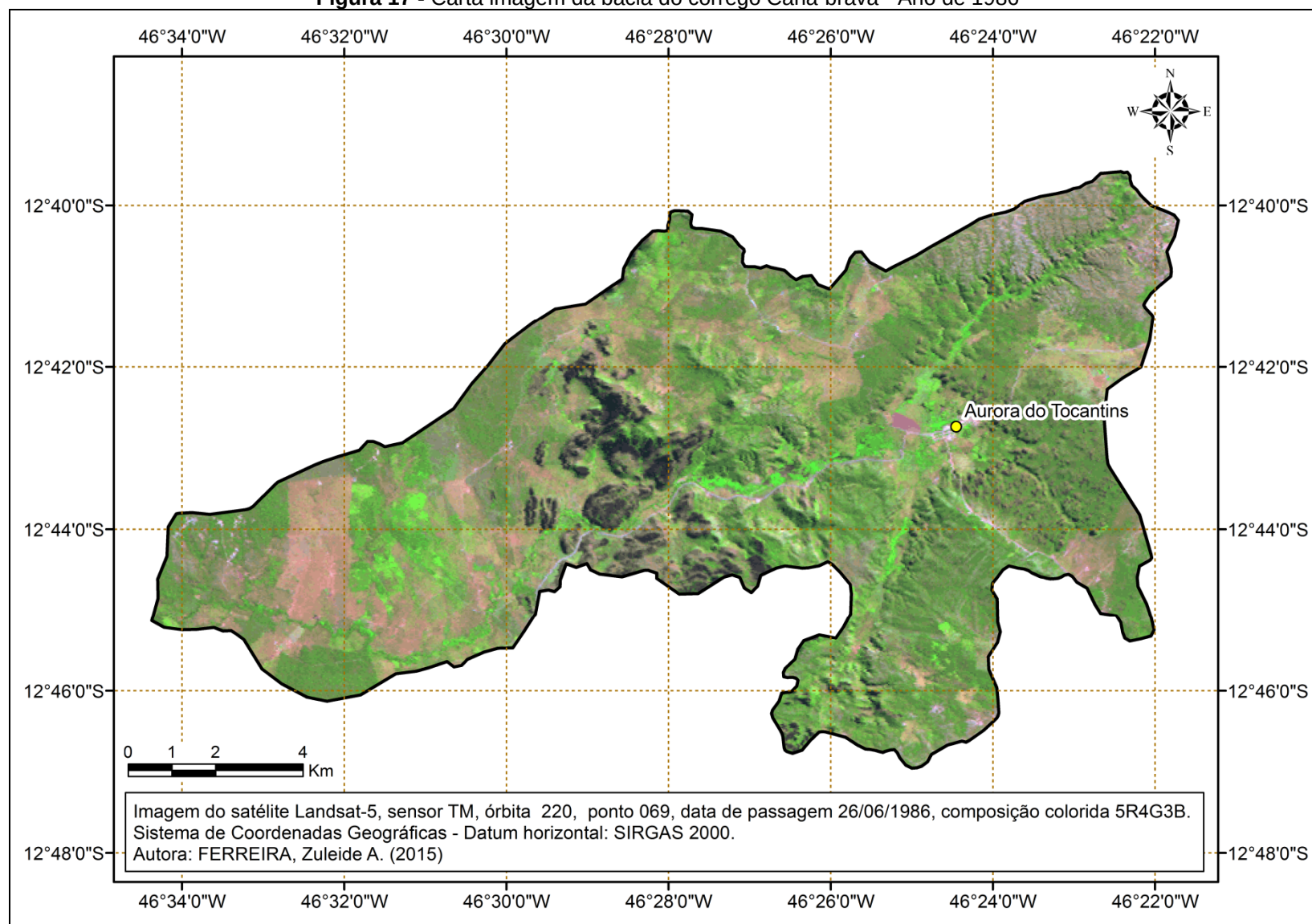
A figura 17 demonstra cobertura da terra na bacia do córrego Cana-brava em 20 de junho de 1986. O resultado da classificação da imagem Landsat-5-TM do ano de 1986 pode ser visualizado na figura 18. Nesta época, a área da bacia do córrego Cana-brava era composta por 51,36% de cerrado sentido restrito, 22,93% de agropecuária, 15,76% de campo rupestre, 9,79% de mata de galeria e 0,16% de área urbanizada, conforme demonstra a tabela 4.

Tabela 4 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 1986

Tipo de cobertura	Área (km²)	Área (%)
Agropecuária	36,84	22,93
Área Urbanizada	0,25	0,16
Campo Rupestre	25,32	15,76
Cerrado Sentido Restrito	82,55	51,36
Mata de Galeria	15,73	9,79
TOTAL	160,69	100,00

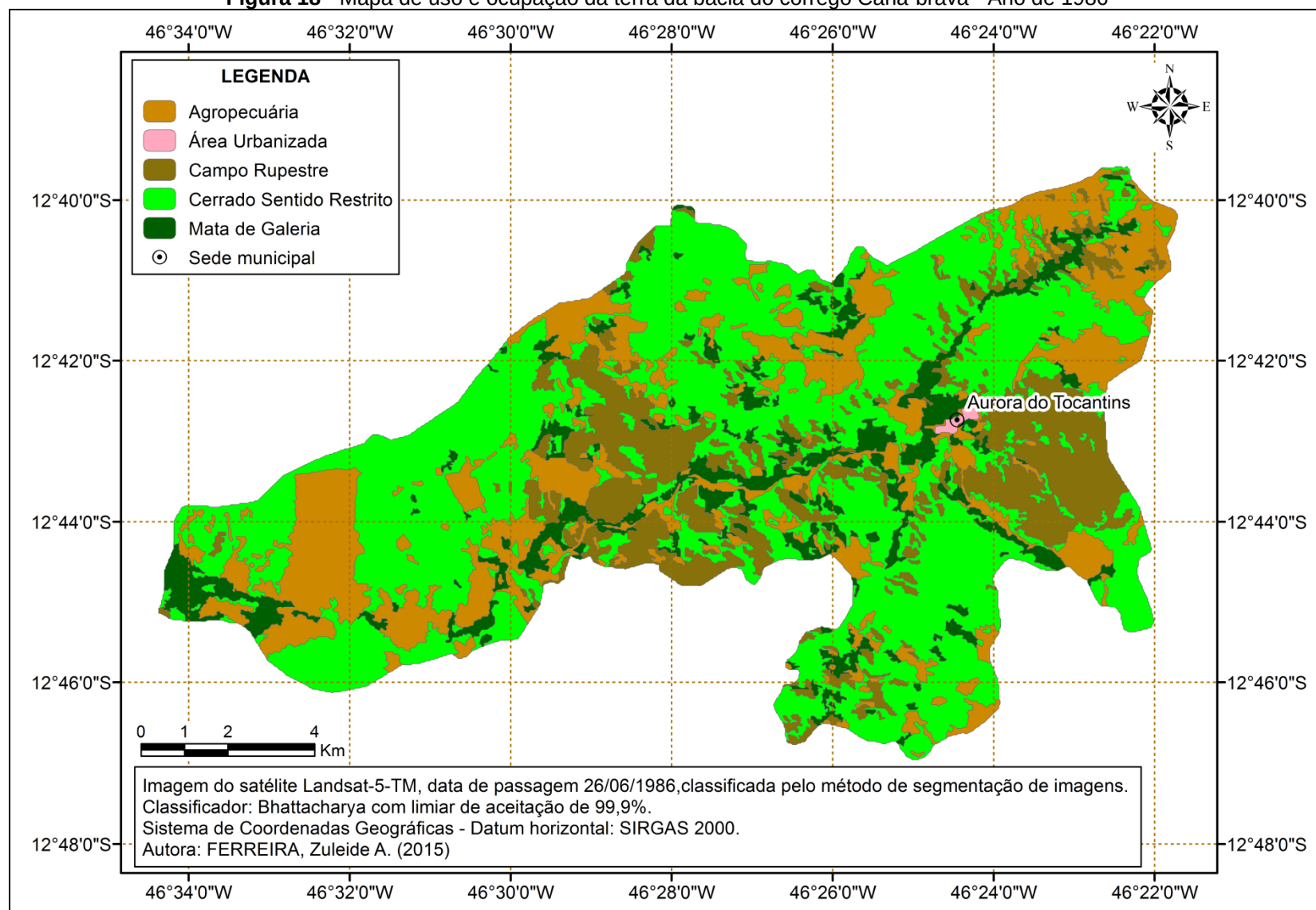
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 17 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1986



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 18 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1986



Fonte: Elaborado pela autora

No ano de 1991, houve um aumento na área ocupada pela classe cerrado sentido restrito passando de 82,55 para 92,37 km², representando 57,48% da área total. A agropecuária permaneceu praticamente estável, já que ocupava 36,84 km², em 1986 e 37,29 km², em 1991. O campo rupestre teve pequena queda na área passando de 25,32 para 23,28 km². A mata de galeria teve uma redução bem expressiva, mais de 52%, uma vez que ocupava 15,73 km² em 1986 e passou a ocupar apenas 7,44 km² em 1991, conforme demonstram a tabela 5 e as figuras 19 e 20.

Tabela 5 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 1991

Tipo de cobertura	Área (km²)	Área (%)
Agropecuária	37,29	23,21
Área Urbanizada	0,31	0,19
Campo Rupestre	23,28	14,49
Cerrado Sentido Restrito	92,37	57,48
Mata de Galeria	7,44	4,63
TOTAL	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

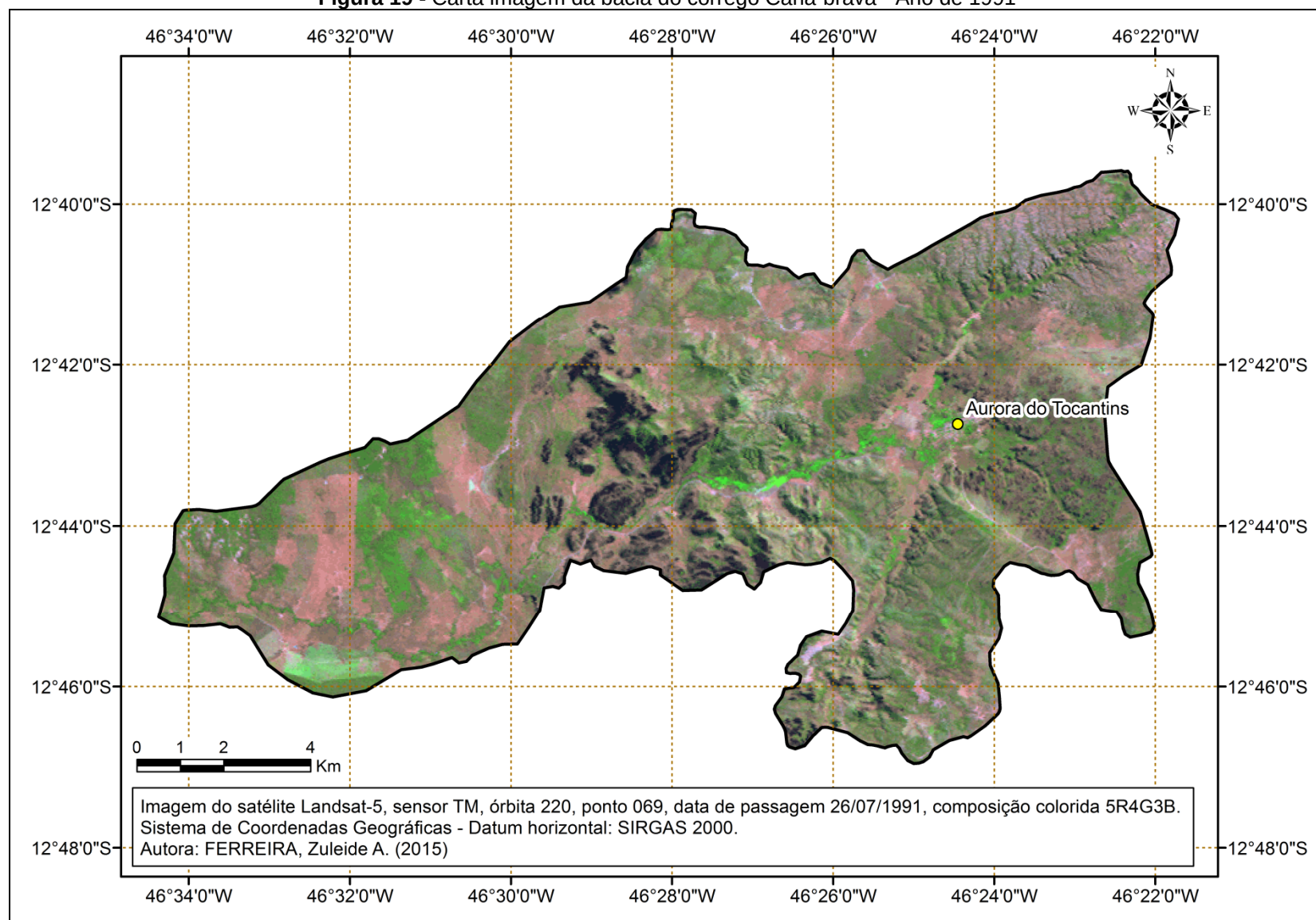
Em 1996, a área ocupada pela classe agropecuária aumentou mais de 111%, passando de 37,29 para 78,81 km², ocupando cerca de 49% da área total da bacia do córrego Cana-brava. A classe cerrado sentido restrito teve uma perda de aproximadamente 40 km², passando de 92,37 km², em 1991, para 52,64 km², neste período. A mata de galeria continuou a diminuir expressivamente apresentando, agora, uma redução de 76% em relação ao ano de 1986, uma vez que passou de 15,73 km² para 3,71 km², em 1996, conforme demonstram a tabela 6 e as figuras 21 e 22.

Tabela 6 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 1996

Tipo de cobertura	Área (km²)	Área (%)
Agropecuária	78,81	49,04
Área Urbanizada	0,45	0,28
Campo Rupestre	25,08	15,61
Cerrado Sentido Restrito	52,64	32,76
Mata de Galeria	3,71	2,31
TOTAL	160,69	100,00

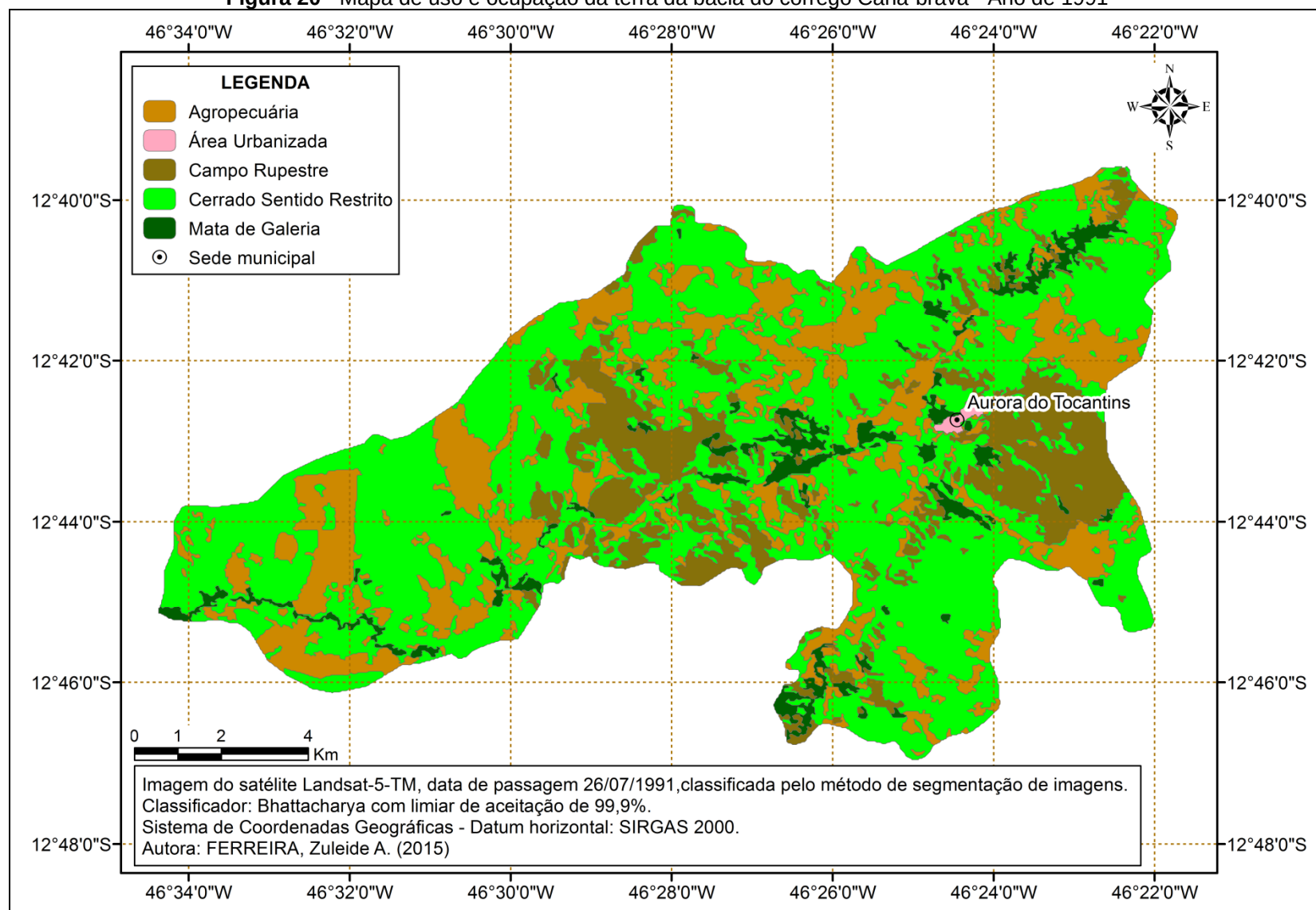
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 19 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1991



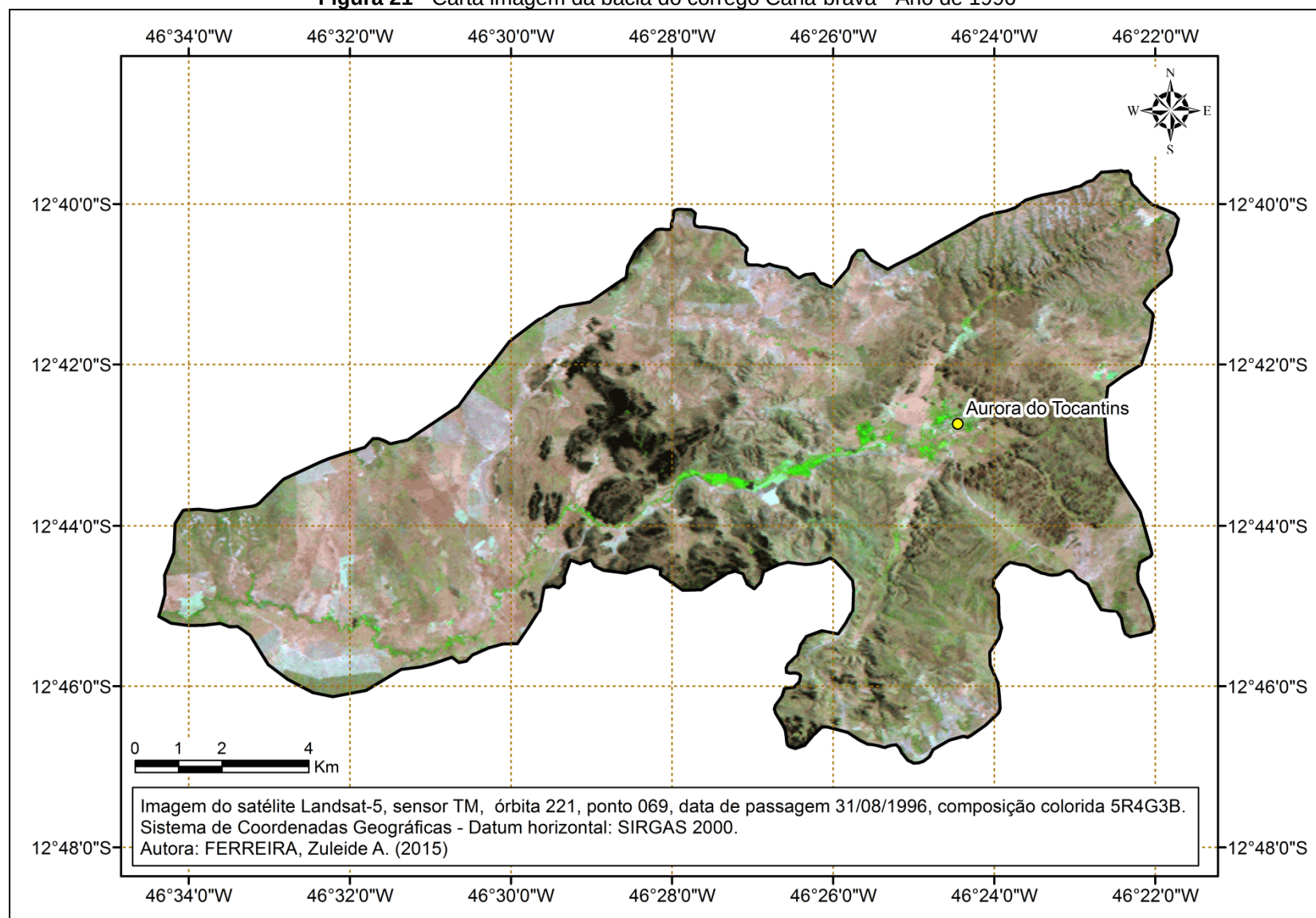
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 20 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1991



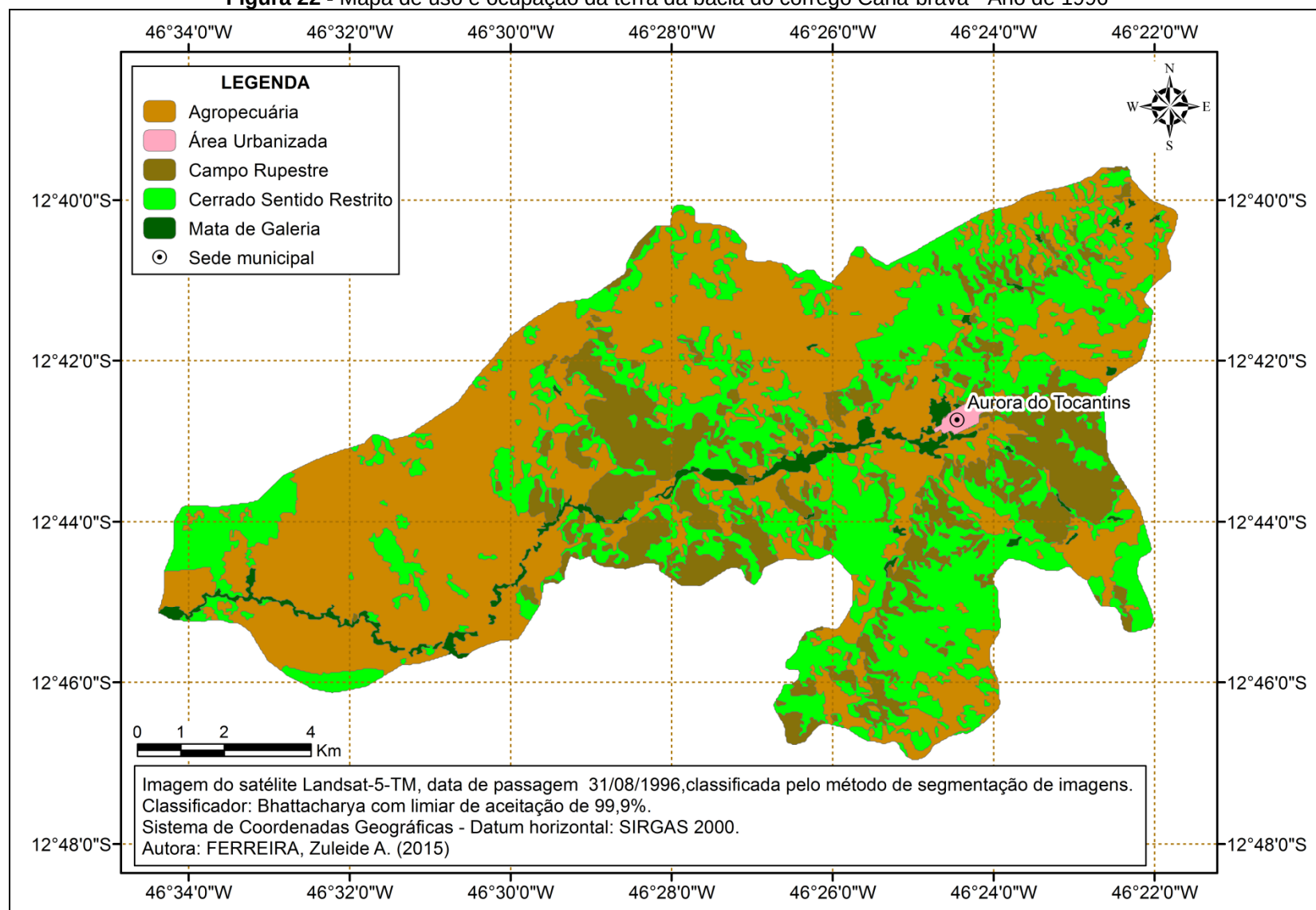
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 21 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1996



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 22 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1996



Fonte: Elaborado pela autora

No ano de 2001, a área ocupada pela classe agropecuária sofreu uma leve diminuição, já que passou 78,81 km², em 1996, para 75,94 km², em 2001, correspondendo a 47,27% da área total da bacia do córrego Cana-brava. A classe cerrado sentido restrito apresentou um ligeiro aumento passando de 52,64 para 58,27 km², perfazendo cerca de 36% da área total. O campo rupestre, por sua vez, apresentou redução de 16,4% em sua área de ocupação, passando de 25,08 km² para 20,96 km². A área urbanizada, apesar de pequena, também apresentou um crescimento de 192% se comparada com a área do ano de 1986, onde passou de 0,25 km² para 0,73 km². A tabela 7 e as figuras 23 e 24 demonstram tais distribuições das classes.

Tabela 7 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 2001

Tipo de cobertura	Área (km²)	Área (%)
Agropecuária	75,94	47,27
Área Urbanizada	0,73	0,45
Campo Rupestre	20,96	13,04
Cerrado Sentido Restrito	58,27	36,26
Mata de Galeria	4,79	2,98
TOTAL	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

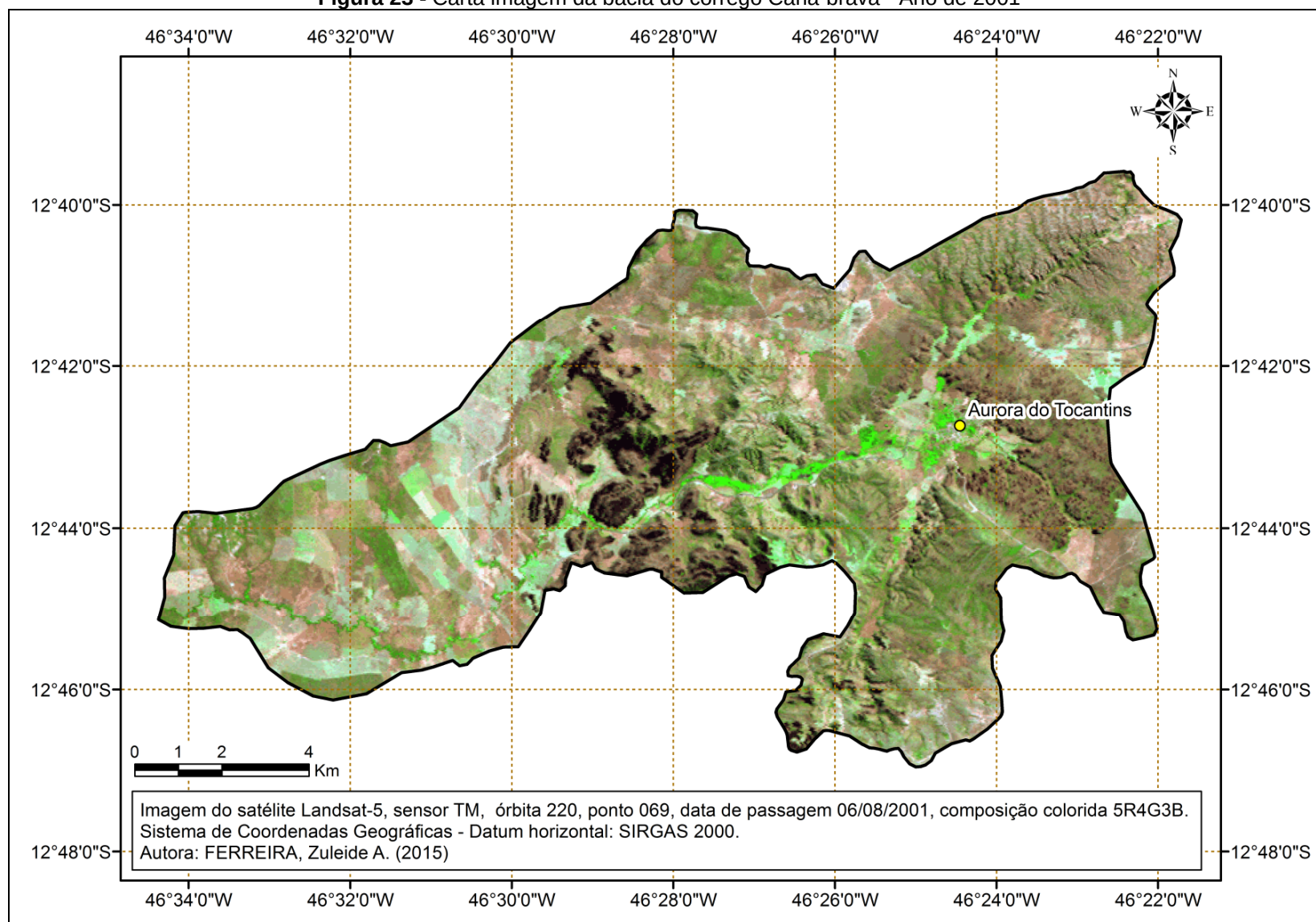
A tabela 8 demonstra, no ano de 2006, um crescimento de mais de 20% na área ocupada pela classe agropecuária, já que saltou de 75,94 km² para 91,88 km² sua área de abrangência. Por outro lado, a classe cerrado sentido restrito teve redução de 27% em sua área, passando de 58,27 km² para 42,04 km². O campo rupestre permaneceu estável e a área urbanizada apresentou um pequeno crescimento de 9% em relação à área de 2001 (Figuras 25 e 26).

Tabela 8 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 2006

Tipo de cobertura	Área (km²)	Área (%)
Agropecuária	91,88	57,18
Área Urbanizada	0,80	0,50
Campo Rupestre	21,36	13,29
Cerrado Sentido Restrito	42,04	26,16
Mata de Galeria	4,61	2,87
TOTAL	160,69	100,00

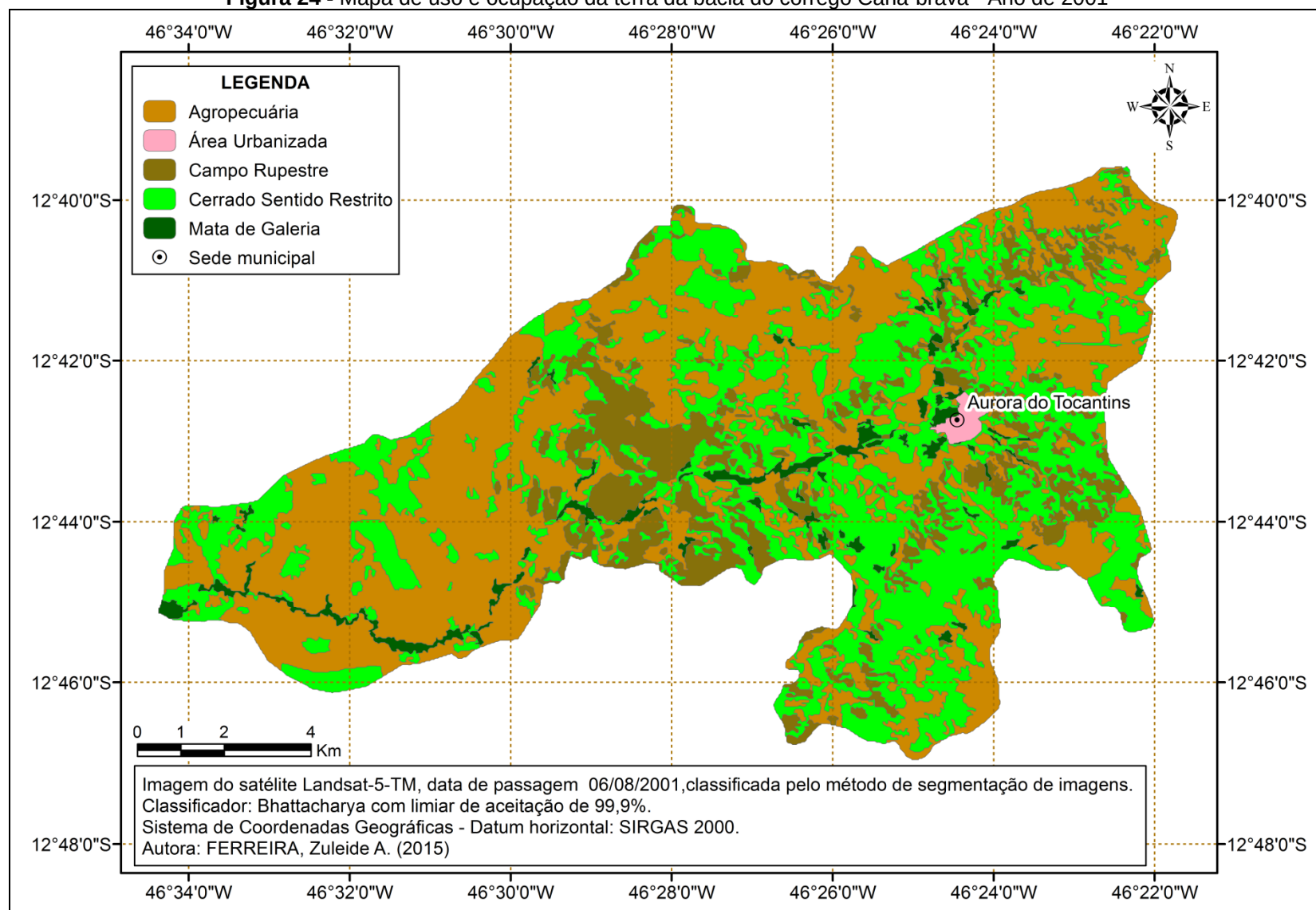
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 23 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2001



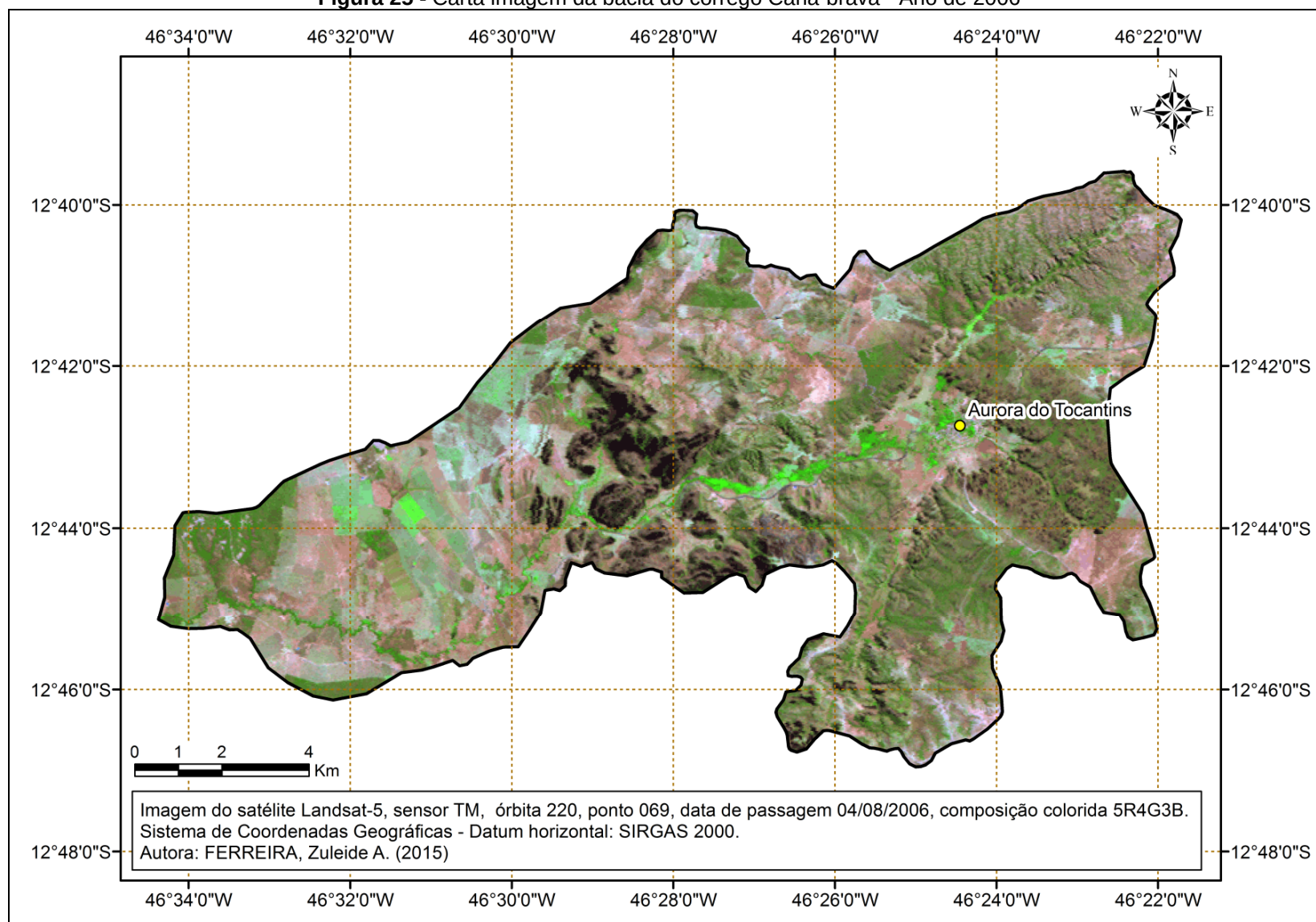
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 24 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2001



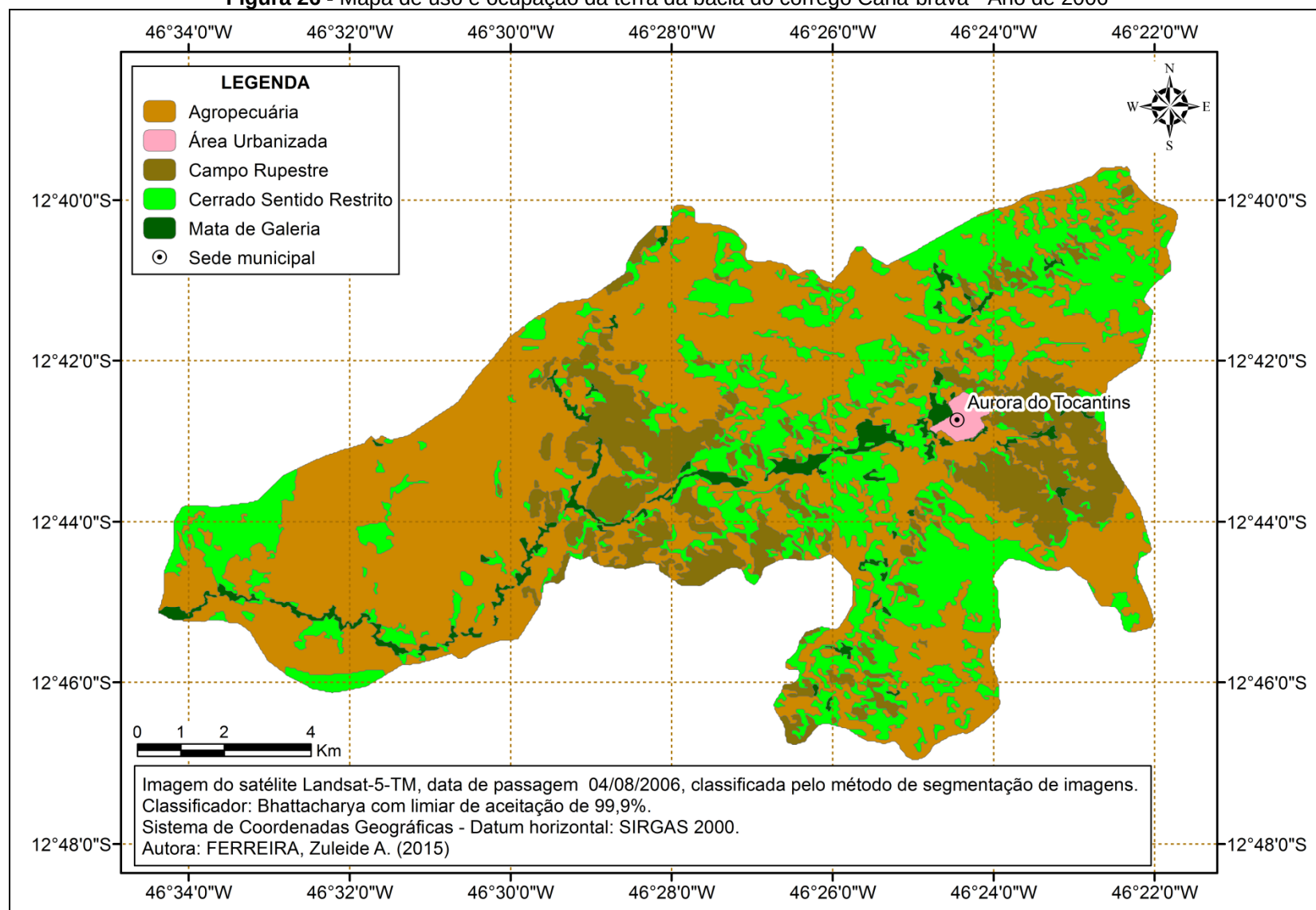
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 25 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2006



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 26 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2006



Fonte: Elaborado pela autora

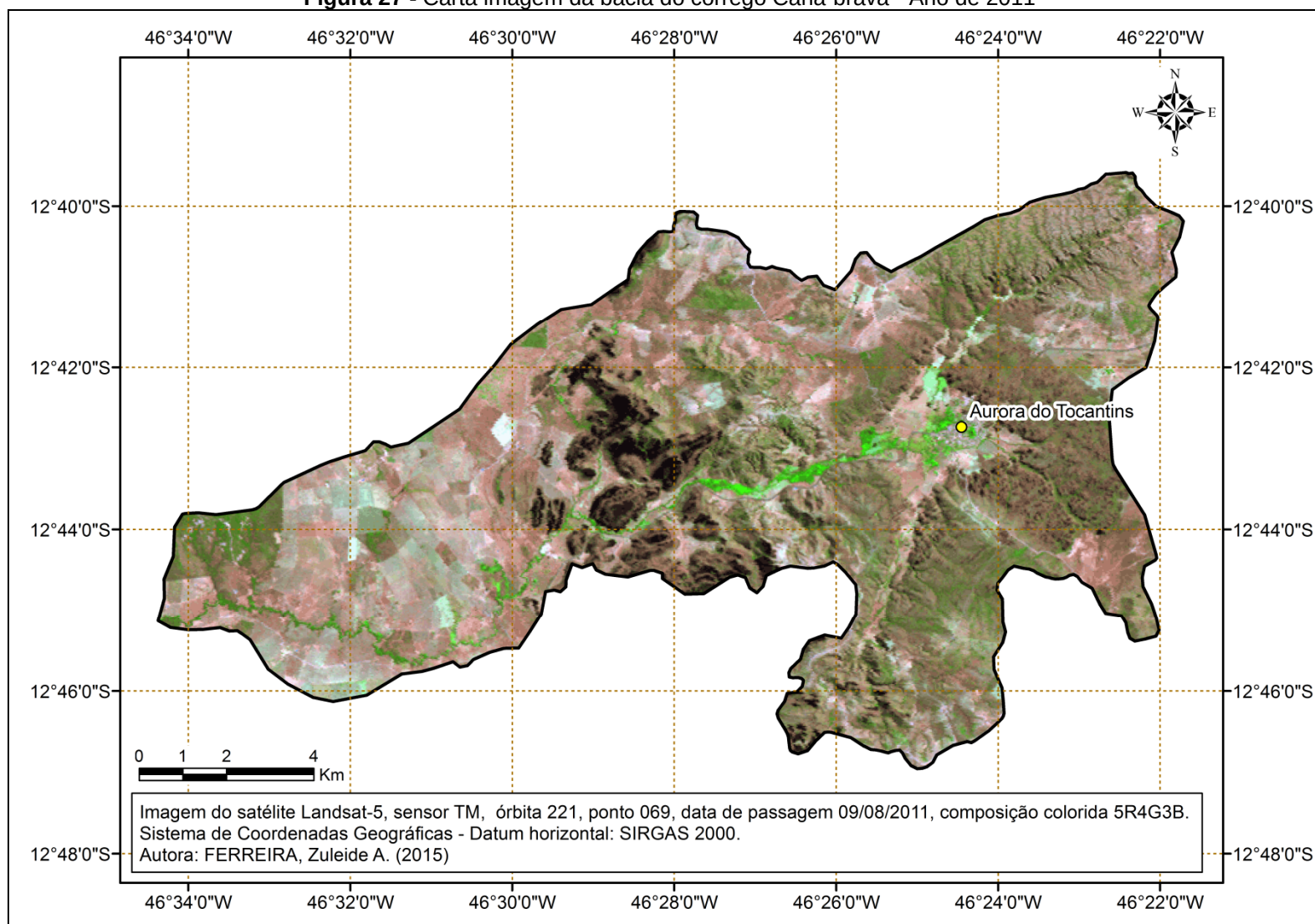
No ano de 2011, a classe agropecuária apresentou aumento novamente, passando de 91,88 km² para 99,58 km², o que corresponde cerca de 8% do total da área ocupada (Tabela 9). A classe cerrado sentido restrito apresentou redução outra vez, passando de 42,04 km² para 37,47 km² de área ocupada. O campo rupestre também apresentou redução, cerca de 14% em relação ao ano de 2006, passando de 21,36 km² para 18,17 km². Por fim, a área urbanizada apresentou um crescimento de 17,5% em relação ao ano de 2006. As figuras 27 e 28 demonstram a cobertura da terra na bacia do córrego Cana-brava no ano de 2011.

Tabela 9 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - ano de 2011

Tipo de cobertura	Área (km²)	Área (%)
Agropecuária	99,58	61,97
Área Urbanizada	0,94	0,58
Campo Rupestre	18,17	11,31
Cerrado Sentido Restrito	37,47	23,32
Mata de Galeria	4,53	2,82
TOTAL	160,69	100,00

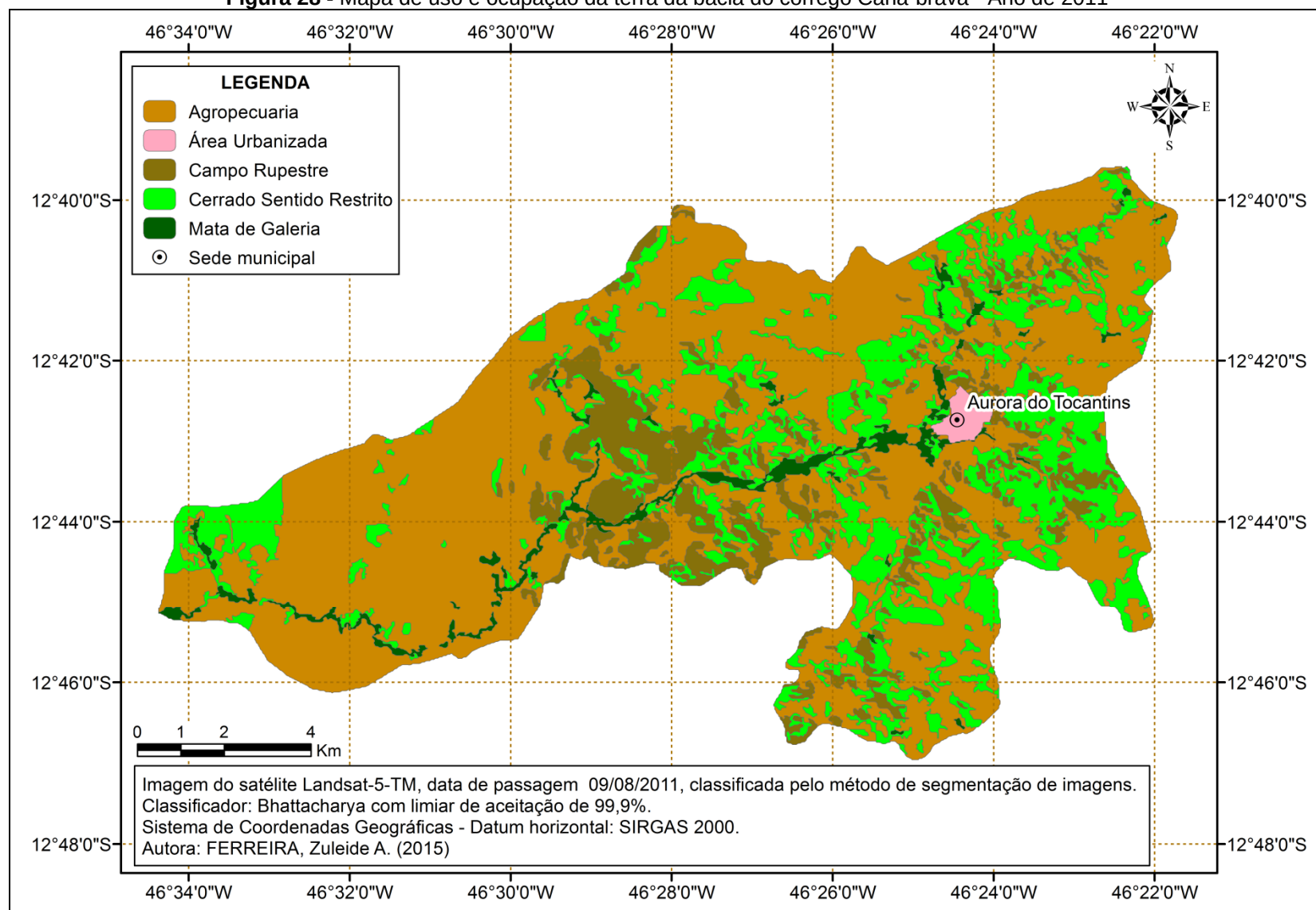
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 27 - Carta imagem da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2011



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 28 - Mapa de uso e ocupação da terra da bacia do córrego Cana-brava - Ano de 2011



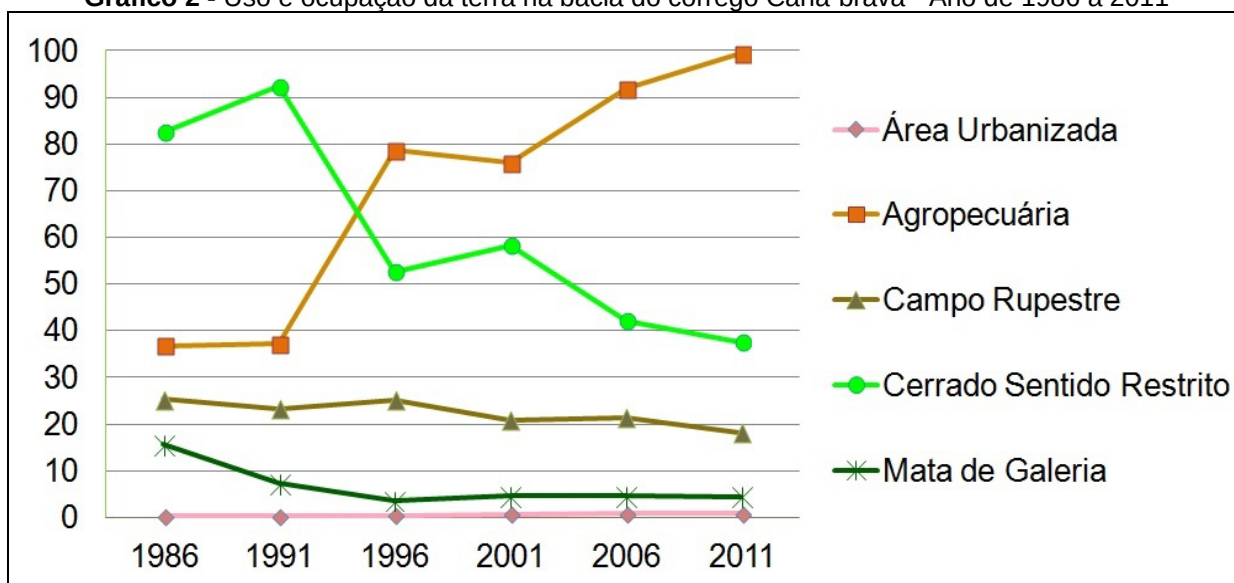
Fonte: Elaborado pela autora

A tabela 10 e o gráfico 2 apresentam evolução da análise multitemporal da cobertura da terra na bacia do córrego Cana-brava realizada através da classificação das imagens do satélite Landsat-5, sensor TM nos quinquênios de 1986 a 2011.

Tabela 10 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava de 1986 a 2011

	Área/Ano 1986		Área/Ano 1991		Área/Ano 1996		Área/Ano 2001		Área/Ano 2006		Área/Ano 2011	
Tipo de cobertura	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Agropecuária	36,84	22,93	37,29	23,21	78,81	49,04	75,94	47,27	91,88	57,18	99,58	61,97
Área Urbanizada	0,25	0,16	0,31	0,19	0,45	0,28	0,73	0,45	0,80	0,50	0,94	0,58
Campo Rupestre	25,32	15,76	23,28	14,49	25,08	15,61	20,96	13,04	21,36	13,29	18,17	11,31
Cerrado S. Restrito	82,55	51,36	92,37	57,48	52,64	32,76	58,27	36,26	42,04	26,16	37,47	23,32
Mata de Galeria	15,73	9,79	7,44	4,63	3,71	2,31	4,79	2,98	4,61	2,87	4,53	2,82
Total	160,69	100,00	160,69	100,00	160,69	100,00	160,69	100,00	160,69	100,00	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

Gráfico 2 - Uso e ocupação da terra na bacia do córrego Cana-brava - Ano de 1986 a 2011

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando o gráfico 2 e tabela 10, pôde-se perceber que houve um grande crescimento na área ocupada pela classe agropecuária. A área ocupada pela classe era de 36,84 km², no ano de 1986 e 99,58 km², no ano de 2011, o que corresponde a um aumento de cerca de 170%. Por outro lado, podemos perceber uma diminuição gradativa na área ocupada pela classe cerrado sentido restrito, já que esta ocupava 82,55 km² em 1986 e 37,47 km² em 2011, indicando uma redução de aproximadamente 54% da sua área original. A classe campo rupestre apresentou redução de 28% em sua área total, porém observando pelo gráfico, pode-se perceber certa estabilidade nos últimos dez anos. A classe mata de galeria apresentou uma redução de aproximadamente 71% de sua área original, contudo também permaneceu praticamente estável nos últimos 15 anos do período analisado. Enfim, a classe urbana, apesar de representar uma pequena parcela da área total da bacia do córrego Cana-brava, apresentou um crescimento de 276% em relação ao ano de 1986.

Diante dos dados apresentados, pode-se afirmar que o crescimento da agropecuária está relacionado à diminuição das áreas ocupadas pelo cerrado, uma vez que, pôde ser visualizada, através das imagens de satélite, a substituição das áreas do cerrado pela agropecuária. Além disso, houve uma menor variação na área ocupada pelo campo rupestre, provavelmente em virtude da presença de afloramentos rochosos, o que dificulta a utilização de maquinários agrícolas. Apesar da diminuição da área ocupada pela mata de galeria constatada no período

observado, pôde-se notar uma ligeira recuperação dessas áreas no período de 1991 a 1996, a qual pode estar relacionada com as campanhas da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-1992) e também com a estruturação do órgão ambiental estadual, o NATURATINS⁴. Ademais, as áreas de mata de galeria apresentaram certa estabilidade supostamente em decorrência de uma maior fiscalização ambiental nos últimos anos do período estudado. A área urbana, por sua vez, também apresentou um aumento significativo, o que sugere maior atenção pelos órgãos competentes, por estar localizada em um ambiente cárstico.

3.2.1.2 NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) consiste num indicador numérico utilizado para analisar dados de sensoriamento remoto e verificar se o alvo observado contém vegetação verde com vida ou não (INPE-DSA, 2013).

De acordo com Shimabukuro et al. (1998, p. 1731):

O comportamento espectral das folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna. A variação da reflectância da cobertura vegetal em diferentes bandas de sensores remotos depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel.

Para Moreira (2007), nas mesmas condições ambientais, cada alvo apresenta um comportamento espectral diferente, sendo que, a análise deste comportamento pode ser transformada num índice de vegetação qualquer, como por exemplo, o NDVI. Segundo o autor, os índices de vegetação foram desenvolvidos visando facilitar a análise de dados orbitais cujo objetivo era distinguir o comportamento espectral da vegetação em relação a outros alvos na superfície terrestre. Ainda de acordo com o autor, existem mais de 50 índices de vegetação,

⁴ Primeiramente, no ano de 1989, foi criada a Fundação Natureza do Tocantins (NATURATINS) cujo objetivo era "promover o estudo, a pesquisa e a experimentação no campo da proteção e controle ambiental e da utilização racional dos recursos ambientais" (Lei Estadual nº 029, de 21 de abril de 1989). Posteriormente, em 1996, a fundação foi substituída pelo Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS) através da Lei Estadual nº. 858 de 26 de julho de 1996 (NATURATINS, 2015).

contudo os mais usados são a Razão Simples (RVI) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), sendo este último mais sensível à vegetação esparsa se comparado ao RVI.

O NDVI vem sendo muito utilizado em estudos agrícolas, florestais e climáticos como ferramenta para o monitoramento da vegetação. Este índice possibilita comparações entre perfis sazonais e temporais inter-anuais das atividades da vegetação. Os níveis de cinza de uma imagem NDVI variam de 0 a 255 (8 bits), os quais estão relacionados a valores de NDVI que variam de -1 a +1, logo valores mais elevados estarão relacionados às áreas com maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa e os valores mais baixos apresentarão menor quantidade de vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Teoricamente, os valores de NDVI podem variar entre -1,0 e +1,0, sendo que, o NDVI de uma área contendo uma vegetação densa típica de florestas temperadas e tropicais tende a ter valores positivos altos entre 0,5 e 1,0. Grama e vegetação esparsa possuem valores positivos mais baixos, aproximadamente entre 0,2 e 0,5, enquanto que solos possuem valores ainda mais baixos entre 0,1 e 0,2, podendo alcançar valores negativos dependendo do tipo de solo. As nuvens apresentam valores próximos de zero. No caso de corpos de água, o NDVI apresenta valores negativos (INPE-DSA, 2013).

A fórmula do NDVI é definida como a diferença entre a reflectância no infravermelho próximo e no visível sobre a soma destas reflectâncias. Para o satélite Landsat-5, sensor TM, as bandas 3 e 4 correspondem ao vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Sendo assim, o NDVI é definido conforme a equação 1.

$$\text{NDVI} = (\text{banda 4} - \text{banda 3}) / (\text{banda 4} + \text{banda 3}) = [-1, +1]$$

(Eq. 1)

Para a análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat-5, sensor TM, nas bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) coletadas nos anos de 1986 e 2011, com o intuito de subsidiar a determinação do grau de semelhança entre a vegetação original e a vegetação atual (COa), conforme a metodologia de Beltrame (1994).

As figuras 29 e 30 apresentam as imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011, respectivamente, geradas com a utilização do *software* SPRING 5.2.6. Pode-se perceber que, as áreas que apresentam maiores valores do índice de vegetação aparecem em tonalidades de verde, enquanto que as áreas com baixo índice de vegetação apresentam coloração em tons de magenta.

Após a geração das imagens NDVI, foi feito o fatiamento destas imagens visando quantificar as classes de cada intervalo dos índices de vegetação. As figuras 31 e 32 ilustram o resultado deste fatiamento. A imagem NDVI do ano de 1986 apresentou índices de vegetação variando entre -0,18 a 0,72 e a imagem do ano de 2011 apresentou valores entre -0,20 a 0,73.

Figura 29 - Imagem NDVI - Ano 1986

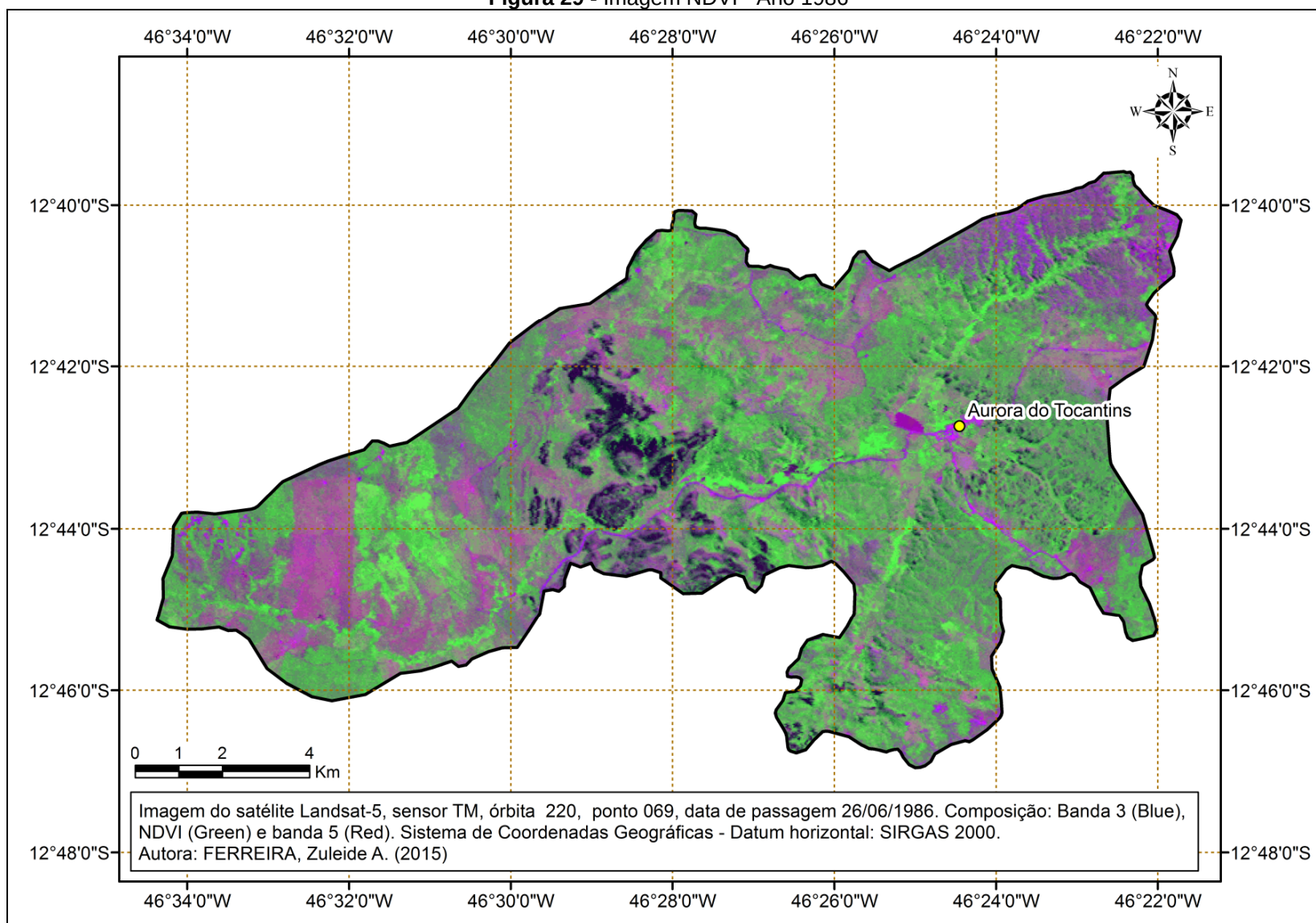
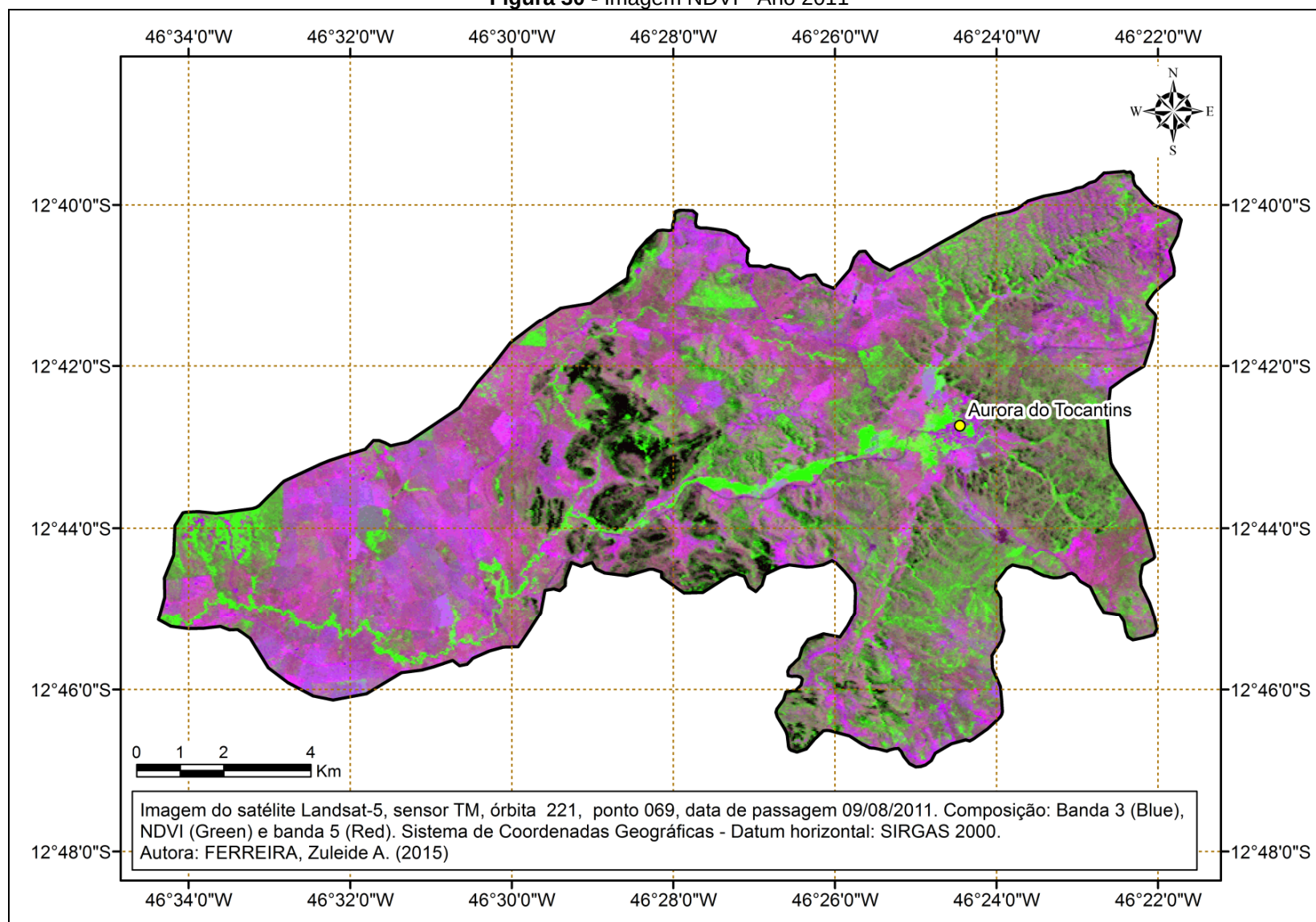
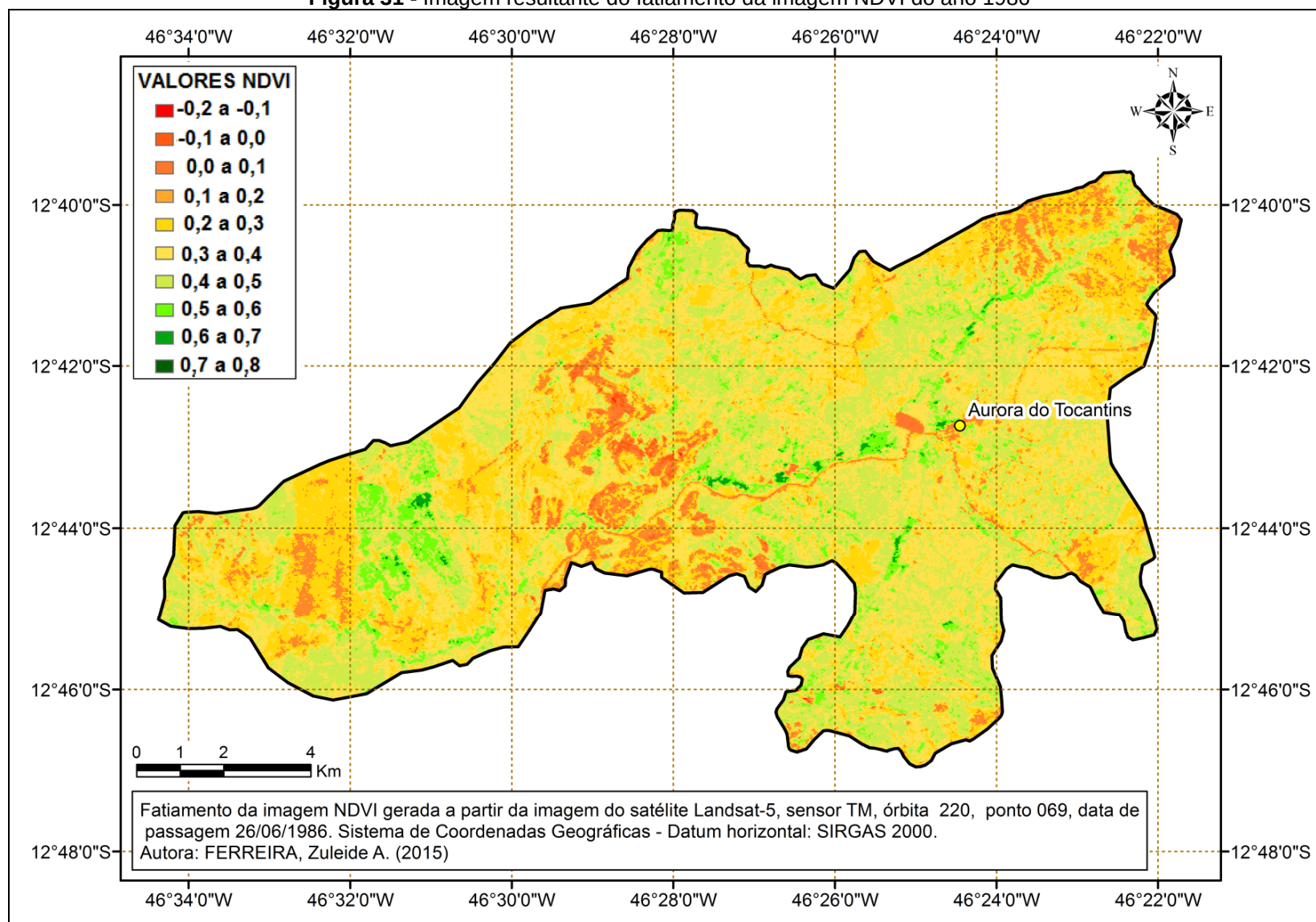


Figura 30 - Imagem NDVI - Ano 2011



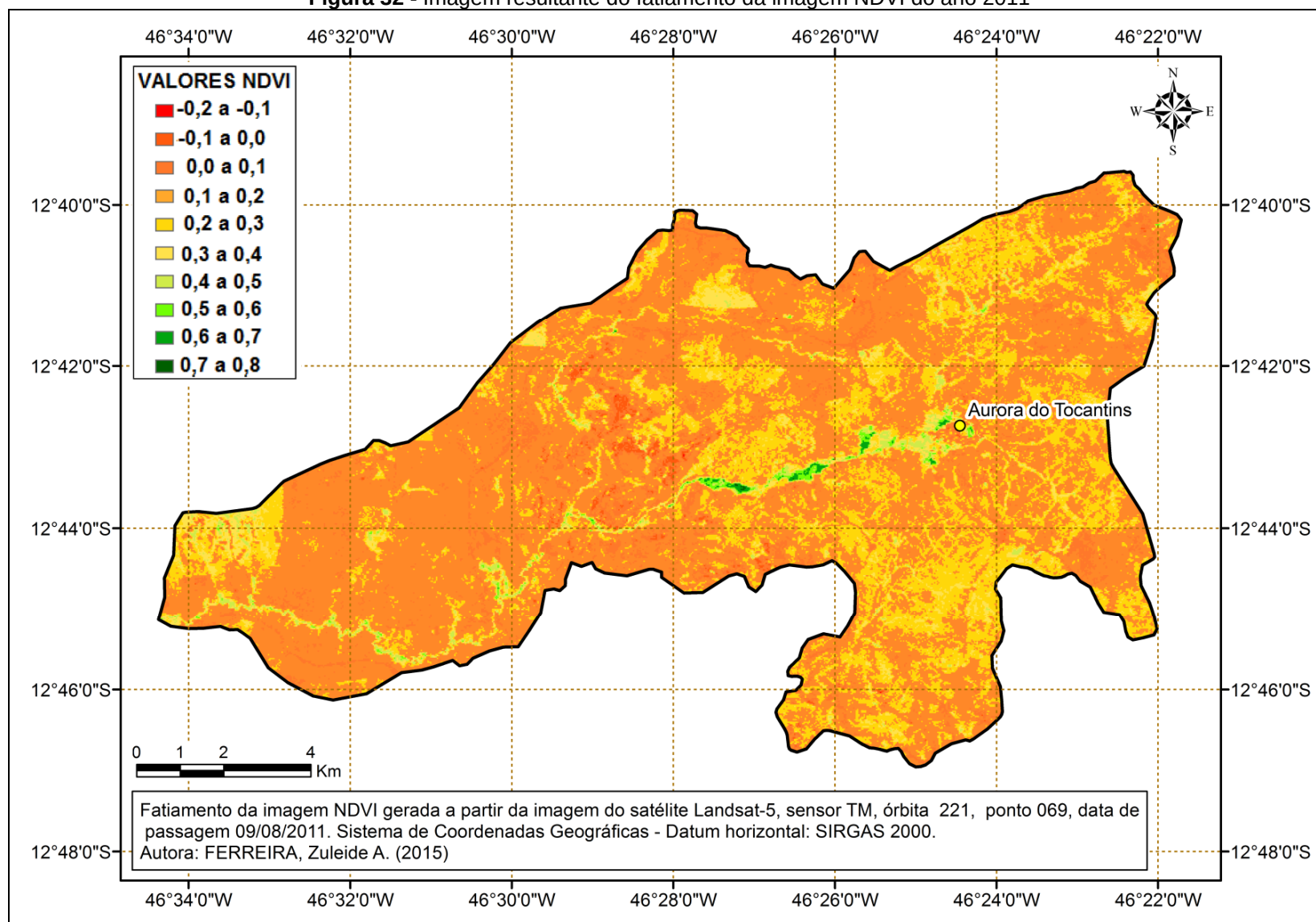
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 31 - Imagem resultante do fatiamento da imagem NDVI do ano 1986



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 32 - Imagem resultante do fatiamento da imagem NDVI do ano 2011



Fonte: Elaborada pela autora

A tabela 11 foi extraída a partir do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011. Pode-se perceber que na área ocupada pela faixa onde o índice varia de 0,1 a 0,2, houve um aumento de 856%. Cabe lembrar que, nessa faixa o NDVI indica escassez de vegetação.

Tabela 11 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011

ANO 1986			ANO 2011		
Intervalo	Área Km ²	%	Intervalo	Área km ²	%
-0,2 a -0,1	0,013	0,01	-0,2 a -0,1	0,008	0,01
-0,1 a 0	0,434	0,27	-0,1 a 0	0,843	0,53
0 a 0,1	2,043	1,27	0 a 0,1	9,336	5,81
0,1 a 0,2	10,461	6,51	0,1 a 0,2	100,037	62,25
0,2 a 0,3	36,407	22,66	0,2 a 0,3	40,174	25,00
0,3 a 0,4	58,605	36,47	0,3 a 0,4	7,732	4,81
0,4 a 0,5	44,781	27,87	0,4 a 0,5	1,770	1,10
0,5 a 0,6	7,370	4,59	0,5 a 0,6	0,554	0,34
0,6 a 0,7	0,572	0,35	0,6 a 0,7	0,225	0,14
0,7 a 0,8	0,004	0,00	0,7 a 0,8	0,011	0,01
TOTAL	160,69	100,00	TOTAL	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

Para facilitar a interpretação do NDVI, os valores encontrados na tabela 11 foram agrupados em duas classes distintas: áreas que apresentaram valores de NDVI menores que 0,2, o que indica a escassez ou ausência de vegetação e áreas que apresentaram valores maiores que 0,2, indicando a presença de vegetação.

A área ocupada por regiões que apresentavam valores de NDVI menores que 0,2 correspondia a 12,95 km² no ano de 1986 e 110,22 km² no ano de 2011, o que equivale a um aumento de 751% das áreas que apresentam escassez ou ausência de vegetação. Do mesmo modo, a área ocupada por valores maiores que 0,2 totalizava 147,74 km² em 1986 e apenas 50,47 km² no ano de 2011, o que representa uma redução de aproximadamente 65% na área total ocupada por áreas onde os índices indicam a presença de vegetação.

3.2.1.3 Determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) para os setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava

De acordo com a metodologia de Beltrame (1994), o parâmetro grau de semelhança existente entre a cobertura vegetal original e atual (CO) é medido por índices de acordo com o quadro a seguir:

Quadro 9 - Classificação quanto ao grau de semelhança entre a vegetação atual e original

Grau de Semelhança	Níveis	Índice
81 - 100%	Altamente semelhante	(CO) ₁
61 - 80%	Semelhante	(CO) ₂
41 - 60%	Medianamente semelhante	(CO) ₃
21 - 40 %	Baixa semelhança	(CO) ₄
1 - 20%	Nenhuma semelhança	(CO) ₅

Fonte: Beltrame (1994)

Cabe ressaltar que, conforme a metodologia de Beltrame (1994), o grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual é referente às características de densidade de cobertura vegetal e não está relacionado com a semelhança botânica entre espécies originais e atuais. Acrescenta-se ainda que, o ano de 1986 foi considerado como referência para a vegetação original devido à ausência de dados mais antigos referentes à vegetação da bacia do córrego Cana-brava.

Para determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) para os setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava, foi utilizado o resultado da classificação das imagens Landsat-5-TM que resultou na tabela 12.

Tabela 12 - Uso e ocupação da terra nos setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava nos anos de 1986 e 2011

Tipo de cobertura	SETOR A				SETOR B				SETOR C			
	Ano 1986		Ano 2011		Ano 1986		Ano 2011		Ano 1986		Ano 2011	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
Agropecuária	13,94	20,33	35,91	52,35	10,22	18,87	32,17	59,40	12,70	33,48	31,36	82,68
Área Urbanizada	0,25	0,36	0,94	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Campo Rupestre	12,74	18,57	6,52	9,51	11,82	21,82	11,01	20,32	0,77	2,03	0,67	1,77
Cerrado Sentido Restrito	35,20	51,32	23,75	34,63	26,39	48,71	9,39	17,33	20,89	55,08	4,39	11,57
Mata de Galeria	6,46	9,42	1,47	2,14	5,74	10,60	1,60	2,95	3,57	9,41	1,51	3,98
Total	68,59	100,00	68,59	100,00	54,17	100,00	54,17	100,00	37,93	100,00	37,93	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

No ano de 1986, a área ocupada pela cobertura vegetal original no setor A era constituída por: 35,20 km² de cerrado sentido restrito (51,32% da área do setor), 12,74 km² de campo rupestre (18,57% da área do setor) e 6,46 km² (9,42%) de mata de galeria, totalizando 54,40 km² (79,31% da área do setor). No ano de 2011, a área do setor A era composta por: 23,75 km² de cerrado sentido restrito (34,63% da área do setor); 6,52 km² de campo rupestre (9,51% da área do setor) e 1,47 km² de mata de galeria (2,14% da área do setor), abrangendo um total de 31,74 km² (46,28% da área do setor). Portanto, pôde-se perceber uma redução na quantidade de área ocupada pela vegetação, onde o grau de semelhança entre vegetação original e atual ficou em torno de 58%, o que sugere a atribuição do índice CO₃ (medianamente semelhante) para o setor A.

A cobertura vegetal do setor B, no ano de 1986, era constituída por: 26,39 km² de cerrado sentido restrito (48,71% da área do setor); 11,82 km² de campo rupestre (21,82% da área do setor) e 5,74 km² de mata de galeria (10,60% da área do setor), o que totalizava em 43,95 km² (81,13% da área total do setor). Já no ano de 2011, a área ocupada pela cobertura vegetal no setor B era composta por: 11,01 km² de campo rupestre (20,32% da área do setor); 9,39 km² de cerrado sentido restrito (17,33% da área do setor) e 1,60 km² de mata de galeria (2,95% da área do setor), totalizando 22,00 km² (40,60% da área do setor B). Assim, a área ocupada pela cobertura vegetal em 2011 representa apenas 50% da área ocupada pela cobertura vegetal original, indicando também, um parâmetro de semelhança CO₃ (medianamente semelhante).

A cobertura vegetal do setor C, no ano de 1986, era composta por: 20,89 km² de cerrado sentido restrito (55,08% da área do setor); 3,57 km² de mata de galeria (9,41% da área do setor) e 0,77 km² de campo rupestre (2,03% da área do setor), perfazendo 25,23 km² (66,52% da área do setor C). No ano de 2011, a área do setor C era constituída por: 4,39 km² de cerrado sentido restrito (11,57% da área do setor), 1,51 km² de mata de galeria (3,98% da área do setor) e 0,67 km² de campo rupestre (1,77% da área do setor). Sendo assim, a área total ocupada pela cobertura vegetal no setor B, no ano de 2011, correspondia apenas a 6,57 km² (17,32% da área do setor), ou seja, 26% da vegetação original (1986), o que indica um grau de semelhança CO₄ (baixa semelhança).

Com um intuito de obter dados comparativos para a determinação do grau de semelhança entre a vegetação original e atual, também foram analisados os dados oriundos das imagens NDVI para cada setor da bacia do córrego Cana-brava. A tabela 13 demonstra o resultado do fatiamento do NDVI para o setor A. Pode-se observar que os intervalos onde há a presença de vegetação (índices maiores que 0,2) ocupavam, no ano de 1986, uma área de 64,21 km² e de 28,01 km² no ano de 2011. Dessa forma, a área ocupada em 2011 representa apenas 43,62% da área de vegetação original (1986), o que indicaria também a atribuição do índice de grau de semelhança medianamente semelhante (CO₃) para o setor A.

Tabela 13 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011 para o setor A

Intervalo NDVI	Setor A - Ano 1986		Setor A - Ano 2011	
	Área (Km ²)	%	(Área Km ²)	%
-0,2 a -0,1	0,005	0,01	0,001	0,00
-0,1 a 0	0,024	0,04	0,070	0,10
0 a 0,1	0,499	0,73	2,582	3,76
0,1 a 0,2	3,856	5,61	37,929	55,30
0,2 a 0,3	13,300	19,39	23,614	34,43
0,3 a 0,4	26,180	38,17	3,484	5,08
0,4 a 0,5	21,647	31,56	0,649	0,95
0,5 a 0,6	2,864	4,18	0,191	0,28
0,6 a 0,7	0,215	0,31	0,070	0,10
0,7 a 0,8	0,000	0,00	0,000	0,00
TOTAL	68,59	100,00	68,590	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

No setor B, as áreas que indicam a presença de vegetação ocupavam 48,00 km² no ano de 1986 e 14,96 km² no ano de 2011, o que representa 31,17% de grau de semelhança. Dessa forma, poderia ser atribuído o índice de baixa semelhança (CO₄) entre a vegetação original (1986) e a vegetação atual (2011) (Tabela 14).

Tabela 14 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011 para o setor B

Intervalo NDVI	Setor B - Ano 1986		Setor B - Ano 2011	
	Área (Km²)	%	Área (Km²)	%
-0,2 a -0,1	0,006	0,01	0,007	0,01
-0,1 a 0	0,395	0,73	0,730	1,35
0 a 0,1	1,443	2,66	5,150	9,52
0,1 a 0,2	4,322	7,98	33,320	61,51
0,2 a 0,3	11,109	20,51	11,805	21,79
0,3 a 0,4	20,966	38,70	2,300	4,24
0,4 a 0,5	13,845	25,56	0,419	0,77
0,5 a 0,6	1,894	3,50	0,274	0,51
0,6 a 0,7	0,188	0,35	0,154	0,28
0,7 a 0,8	0,002	0,00	0,011	0,02
TOTAL	54,17	100,00	54,17	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com as imagens NDVI, também houve redução nas áreas ocupadas pela vegetação no setor C, isso porque essas áreas correspondiam a 35,45 km² no ano de 1986 e 7,59 km² no ano de 2011, o que representa apenas 21,41% da vegetação original, sugerindo um baixo grau de semelhança (CO₄) também para o setor C (Tabela 15).

Tabela 15 - Resultado do fatiamento das imagens NDVI dos anos de 1986 e 2011 para o setor C

Intervalo NDVI	Setor C - Ano 1986		Setor C - Ano 2011	
	Área (Km²)	%	Área (Km²)	%
-0,2 a -0,1	0,001	0,00	0,000	0,00
-0,1 a 0	0,017	0,04	0,042	0,11
0 a 0,1	0,157	0,41	1,616	4,26
0,1 a 0,2	2,310	6,09	28,684	75,63
0,2 a 0,3	11,958	31,54	4,767	12,57
0,3 a 0,4	11,409	30,08	1,987	5,24
0,4 a 0,5	9,271	24,44	0,745	1,96
0,5 a 0,6	2,638	6,95	0,088	0,23
0,6 a 0,7	0,168	0,44	0,001	0,00
0,7 a 0,8	0,002	0,01	0,000	0,00
TOTAL	37,93	100,00	37,93	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

O quadro 10 apresenta, resumidamente, os resultados obtidos para a determinação do grau de semelhança entre a vegetação original e atual para os setores A, B e C. Observa-se que os valores encontrados nestes índices se mostraram compatíveis, com exceção do setor B, que apresentou discrepância.

Quadro 10 - Comparativo entre os índices de grau de semelhança determinados

Setor	Grau de Semelhança (Método)	
	Classificação de imagens	NDVI
A	CO ₃	CO ₃
B	CO ₃	CO ₄
C	CO ₄	CO ₄

Fonte: Elaborada pela autora

Segundo Gonzaga et al. (2011), os resultados das imagens NDVI estão relacionados diretamente com a intensidade pluviométrica, uma vez que este consiste num índice sensível ao verdor da vegetação. Desse modo, acredita-se que os valores encontrados nas imagens NDVI possam ter sofrido influência em função da diferença na data de aquisição das imagens, uma vez que a imagem do ano de 1986 foi coletada em 26 de junho e a imagem do ano de 2011 foi coletada em 09 de agosto. Cabe ressaltar novamente que, o fator determinante na escolha das imagens foi a ausência da cobertura de nuvens.

Diante dos resultados encontrados na determinação do parâmetro do grau de semelhança entre a vegetação original e atual, optou-se pelos índices determinados em função da classificação de imagens, tal como Beltrame (1994), salientando que a aplicação do NDVI teve apenas caráter comparativo.

3.2.1.4 Determinação do parâmetro de cobertura vegetal atual (CA)

Com base nos mapas de uso e ocupação da bacia do córrego Cana-brava referentes aos anos de 1986 (Figura 18) e 2011 (Figura 28), foi possível determinar o grau de proteção que a vegetação proporciona ao solo, a partir de uma classificação qualitativa, onde foram atribuídos índices numéricos específicos para cada tipo de cobertura vegetal. Esses índices variam de 0 a 1, onde 0 (zero) representa solo sem proteção e 1 (um) solo totalmente protegido, conforme demonstra o quadro 11 (BELTRAME, 1994).

Quadro 11 - Índice e símbolo de proteção da vegetação

Índice de proteção	Símbolo
1	CA ₁
0,8 a 0,99	CA ₂
0,6 a 0,79	CA ₃
0,4 a 0,59	CA ₄
0,2 a 0,39	CA ₅
0,1 a 0,19	CA ₆
0,0	CA ₇

Fonte: Beltrame (1994)

As tabelas 16, 17 e 18 apresentam os tipos de cobertura da terra presentes nos setores A, B e C, e seus respectivos índices de proteção fornecida ao solo no ano de 2011. Conforme Beltrame (1994), a coluna referente à superfície reduzida corresponde ao produto da área da classe pelo respectivo índice de proteção. Do mesmo modo, o índice de proteção do setor é calculado em função da divisão do somatório da superfície reduzida pela área total do setor.

Tabela 16 - Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor A

Tipo de Cobertura Vegetal SETOR A	Área (Km²)	Índice de Proteção	Superfície Reduzida	Índice de Proteção do Setor
Agropecuária	35,91	0,4	14,36	
Área Urbanizada	0,94	0,2	0,19	
Campo Rupestre	6,52	0,4	2,61	
Cerrado Sentido Restrito	23,75	0,7	16,63	
Mata de Galeria	1,47	1	1,47	
Total	68,59		35,26	0,51

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994), Chueh (2004) e Paz (2013)

Tabela 17 - Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor B

Tipo de Cobertura Vegetal SETOR B	Área (Km²)	Índice de Proteção	Superfície Reduzida	Índice de Proteção do Setor
Agropecuária	32,17	0,4	12,87	
Área Urbanizada	0,00	0,2	0,00	
Campo Rupestre	11,01	0,4	4,40	
Cerrado Sentido Restrito	9,39	0,7	6,57	
Mata de Galeria	1,60	1	1,60	
Total	54,17		25,44	0,47

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994), Chueh (2004) e Paz (2013)

Tabela 18 - Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor C

Tipo de Cobertura Vegetal SETOR C	Área (Km²)	Índice de Proteção	Superfície Reduzida	Índice de Proteção do Setor
Agropecuária	31,36	0,4	12,54	
Área Urbanizada	0,00	0,2	0,00	
Campo Rupestre	0,67	0,4	0,27	
Cerrado Sentido Restrito	4,39	0,7	3,07	
Mata de Galeria	1,51	1	1,51	
Total	37,93		17,39	0,46

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994), Chueh (2004) e Paz (2013)

O quadro 12 resume os resultados encontrados na etapa de determinação do grau de proteção oferecida pela cobertura ao solo.

Quadro 12 - Índices e símbolos respectivos da proteção oferecida pela cobertura por setores

Setor	Índice	Símbolo
A	0,51	CA₄
B	0,47	CA₄
C	0,46	CA₄

Fonte: Elaborado pela autora conforme Beltrame (1994)

3.2.2 Determinação do parâmetro declividade média (DM)

O mapa de declividade da bacia do córrego Cana-brava foi elaborado com base nas classes de relevo estabelecidas pelo IBGE (2007). Segundo este, são reconhecidas seis classes de relevo: plano (com declividades inferiores a 3%), suave ondulado (declividades entre 3 e 8%), ondulado (declividades entre 8 e 20%), forte ondulado (declividades entre 20 e 45%), montanhoso (declividade entre 45 e 75%) e escarpado (declividades superiores a 75%).

Para a determinação do parâmetro declividade média (DM) foram atribuídos índices e símbolos para cada classe de relevo, conforme o quadro 13. Cabe ressaltar que existem seis classes de relevo de acordo com a nova classificação do IBGE (2007), mas Beltrame (1994) considerou apenas quatro e por isso os índices variam apenas de 1 a 4. Contudo, neste trabalho, a atribuição de índices para cada intervalo de declividade respeitou os valores sugeridos pela autora.

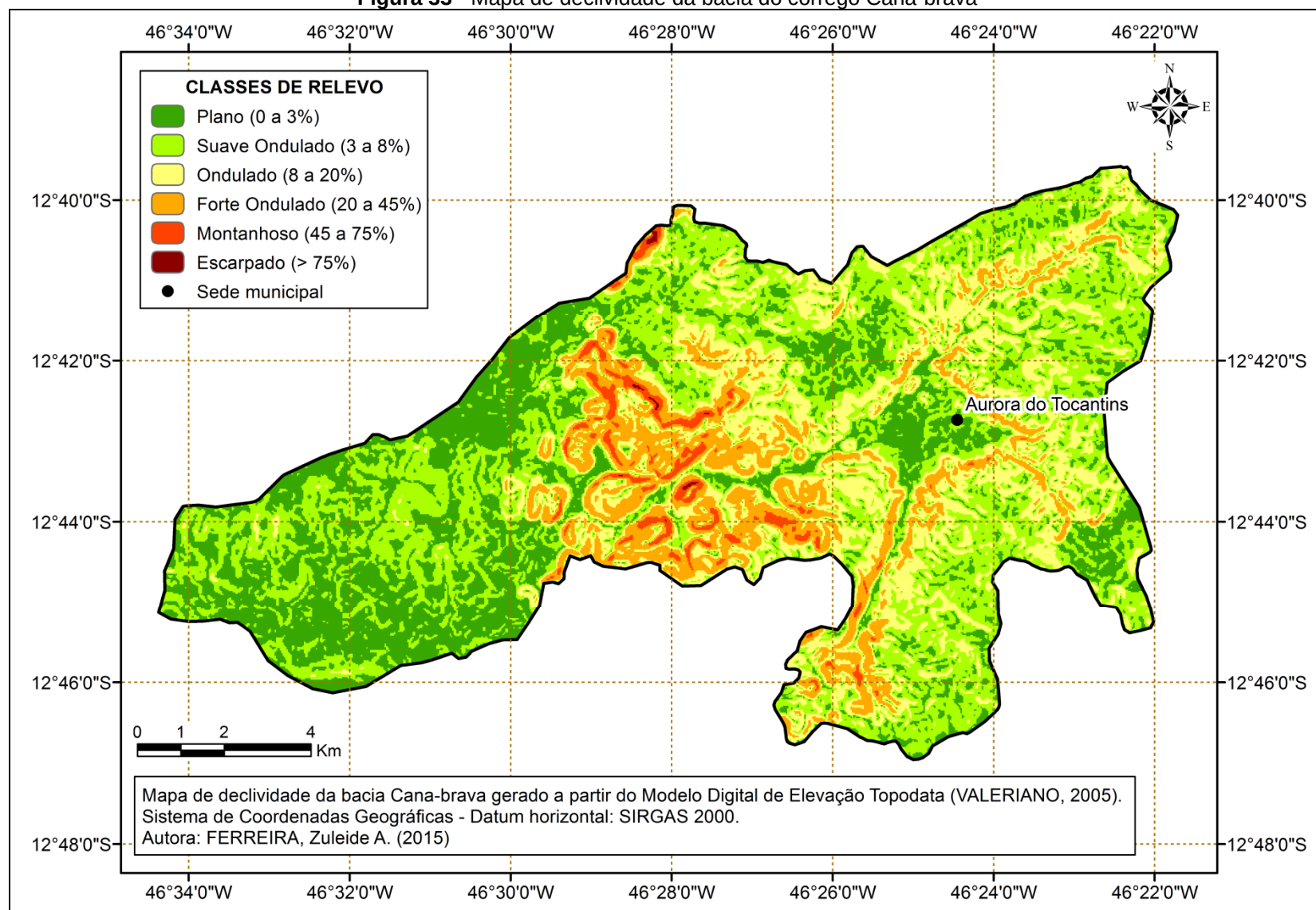
Quadro 13 - Classes de declividade, índices e símbolos utilizados

Declividade	Relevo	Símbolo e Subíndice
0 a 3%	Plano	DM ₁
3 a 8%	Suave Ondulado	DM ₁
8 a 20%	Ondulado	DM ₂
20 a 45%	Forte Ondulado	DM ₃
45 a 75%	Montanhoso	DM ₄
Acima de 75%	Escarpado	DM ₄

Fonte: Elaborada pela autora conforme Beltrame (1994)

O mapa de declividade da bacia do córrego Cana-brava (Figura 33) foi gerado através do *software* SPRING 5.2.6, utilizando como base o Modelo Digital de Elevação Topodata (VALERIANO, 2005). Após a geração do mapa, foi realizado o fatiamento de acordo com as classes de declividade citadas no quadro 13, conforme demonstra a tabela 19.

Figura 33 - Mapa de declividade da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 19 - Distribuição espacial da declividade da bacia do córrego Cana-brava

Classes de declividade	Área (km²)	%
Plano (0 a 3%)	42,01	26,14
Suave Ondulado (3 a 8%)	60,61	37,72
Ondulado (8 a 20%)	35,78	22,27
Forte Ondulado (20 a 45%)	18,72	11,65
Montanhoso (45 a 75%)	3,38	2,10
Escarpado (> 75%)	0,19	0,12
Total	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

Para a determinação da declividade média da bacia do córrego Cana-brava, foi utilizada a média de dados agrupados em intervalos de classe, conforme demonstra a tabela 20. Para um melhor entendimento, segue a descrição do que representa cada item:

Coluna A = Intervalo das classes de declividade presentes na bacia (%);

Coluna B = Frequência absoluta da declividade (*fi*) em unidade de área (km²);

Coluna C = Ponto médio do intervalo de cada classe de declividade;

Coluna D = Resultado da multiplicação da Coluna B pela Coluna C;

DM (Declividade média) = Somatório da Coluna D dividido pelo Somatório Coluna B.

Tabela 20 - Declividade média da bacia do córrego Cana-brava

A	B	C	D
Declividade	<i>fi</i> (km²)	<i>xm</i>	<i>fi * xm</i>
0 a 3%	42,01	1,5	63,02
3 a 8%	60,61	5,5	333,36
8 a 20%	35,78	14	500,92
20 a 45%	18,72	32,5	608,40
45 a 75%	3,38	60	202,80
75 a 100%	0,19	87,5	16,63
Somatório	160,69		1725,13
	DM = 10,74%		
Símbolo	DM2		

Fonte: Elaborada pela autora

3.2.2.1 Declividade nos setores A, B e C

Como pode ser observado na tabela 21, predominam, no setor A, áreas com relevo suave ondulado, já que representam 43,72% da área do setor. O relevo ondulado constitui 30% da área do setor e o relevo plano, 16,88%. Já o relevo forte ondulado está presente em 8,97% da área e os relevos montanhoso e escarpado, por sua vez, representam menos de 1% da área do setor A.

Tabela 21 - Distribuição espacial da declividade da bacia do córrego Cana-brava por setores

Classes de Relevo (Declividade)	Setor A		Setor B		Setor C	
	Área		Área		Área	
	(Km ²)	%	(Km ²)	%	(Km ²)	%
Plano (0 a 3%)	11,58	16,88	10,12	18,68	20,42	53,84
Suave Ondulado (3 a 8%)	29,99	43,72	14,97	27,64	15,73	41,48
Ondulado (8 a 20%)	20,59	30,02	14,07	25,97	1,23	3,24
Forte Ondulado (20 a 45%)	6,15	8,97	12,03	22,21	0,50	1,31
Montanhoso (45 a 75%)	0,28	0,41	2,79	5,15	0,05	0,13
Escarpado (> 75%)	0,00	0,00	0,19	0,35	0,00	0,00
Área total das classes	68,59	100,00	54,17	100,00	37,93	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

A área do setor B é constituída por: 27,64% de relevo suave ondulado; 25,97% de relevo ondulado; 22,21% de relevo forte ondulado; 18,68% de relevo plano; 5,15% de relevo montanhoso e 0,35% de relevo escarpado.

A área do setor C, por sua vez, integra a região mais plana da bacia do córrego Cana-brava, sendo composta por: 53,84% de relevo plano; 41,48% de relevo suave ondulado; 3,24% de relevo ondulado; 1,31% de relevo forte ondulado e apenas 0,13% de relevo montanhoso.

Para a determinação da declividade média de cada setor, também foi utilizada a média de dados agrupados em intervalos de classe. A tabela 22 demonstra os resultados.

Tabela 22 - Declividade média da bacia do córrego Cana-brava por setores

	SETOR A			SETOR B			SETOR C		
Declividade	<i>fi</i> (km²)	<i>xm</i>	<i>fi * xm</i>	<i>fi</i> (km²)	<i>xm</i>	<i>fi * xm</i>	<i>fi</i> (km²)	<i>xm</i>	<i>fi * xm</i>
0 a 3%	11,58	1,5	17,37	10,12	1,5	15,18	20,42	1,5	30,63
3 a 8%	29,99	5,5	164,95	14,97	5,5	82,34	15,73	5,5	86,52
8 a 20%	20,59	14	288,26	14,07	14	196,98	1,23	14	17,22
20 a 45%	6,15	32,5	199,88	12,03	32,5	390,98	0,50	32,5	16,25
45 a 75%	0,28	60	16,80	2,79	60	167,40	0,05	60	3,00
75 a 100%	0,00	87,5	0,00	0,19	87,5	16,63	0,00	87,5	0,00
Somatório	68,59		687,26	54,17		869,51	37,93		153,62
	DM = 10,02%			DM = 16,05%			DM = 4,05%		
Símbolo	DM₂ (Ondulado)			DM₂ (Ondulado)			DM₁ (Suave Ondulado)		

Fonte: Elaborada pela autora

3.2.3 Determinação do parâmetro erosividade da chuva (E)

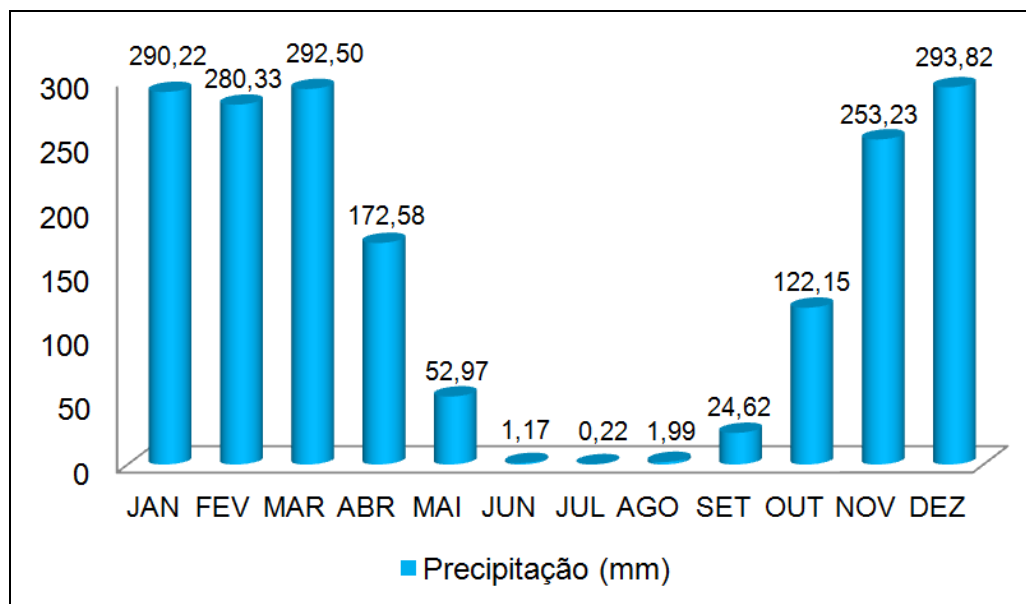
De acordo com Beltrame (1994), a erosividade da chuva está relacionada à quantidade de solo perdida em decorrência da erosão causada pela chuva.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012, p. 45):

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão.

Para a determinação do parâmetro erosividade da chuva (E) na bacia do córrego Cana-brava, primeiramente foi necessária a aquisição de dados de precipitação da estação pluviométrica de Aurora do Tocantins, através do sistema de informações hidrológicas - Hidroweb, gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Após a obtenção destes dados, foi necessário o cálculo de precipitação média mensal dos anos de 1986 a 2011 demonstrado no gráfico 3.

Gráfico 3 - Precipitação média da bacia do córrego Cana-brava - 1986 a 2011



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da ANA (2015)

Para o cálculo da perda de solo da bacia do córrego Cana-brava, foi utilizada a equação de Lombardi e Moldenhauer (1980), utilizada por Beltrame (1994) (Equação 2).

$$E = 6,886 (r^2/P)^{0,85}$$

(Eq. 2)

Onde:

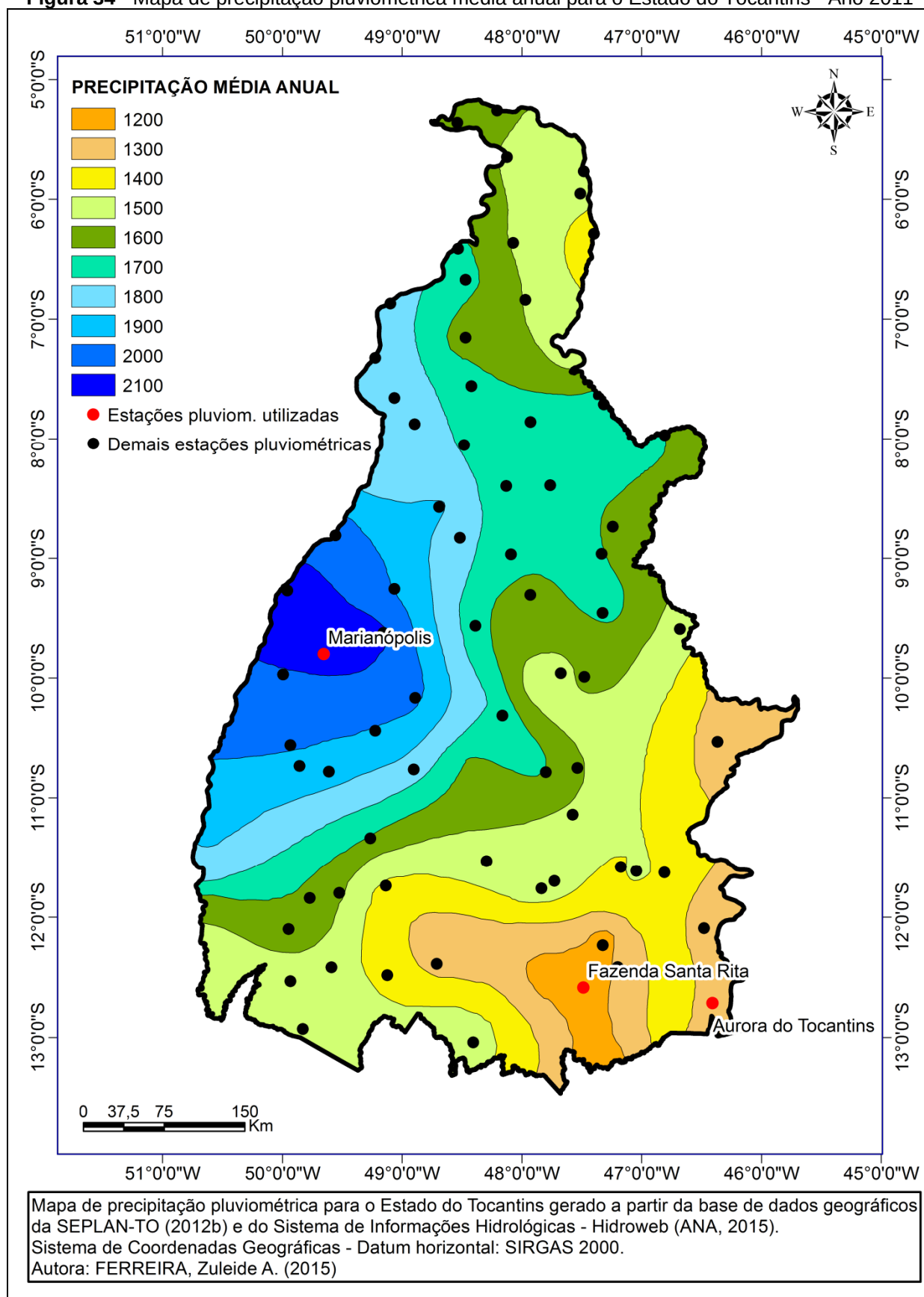
E = média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h);

r = precipitação média mensal em milímetros (mm);

P = precipitação média anual em milímetros (mm).

O índice de erosividade foi adquirido com base nos dados de precipitação média para o Estado do Tocantins que, segundo a SEPLAN-TO (2012a), variaram de 1200 milímetros a 2100 milímetros no ano de 2011. Houve uma pequena discrepância entre os dados da ANA (2015) e da SEPLAN-TO (2012a), uma vez que, de acordo com a ANA (2015), a precipitação máxima para o Estado do Tocantins para o mesmo ano ficou em torno de 2000 milímetros. Apesar disso, foram observadas as faixas de precipitação mínima e máxima, conforme demonstra a figura 34, onde foi possível verificar quais estações pluviométricas da ANA (2015) apresentavam o menor e maior índice de precipitação. Sendo assim, foram selecionadas as estações da Fazenda Santa Rita e da cidade de Marianópolis como referência por terem apresentado os valores de precipitação mínima e máxima, respectivamente.

Desse modo, foram coletados os dados de precipitação mensal das duas estações pluviométricas supracitadas, onde foi possível o cálculo do índice de erosividade mínimo e máximo para o Estado do Tocantins (Tabela 23), cujos valores correspondem a 785,22 t/ha.mm/h (Fazenda Santa Rita) e 1148,53 t/ha.mm/h (Cidade de Marianópolis).

Figura 34 - Mapa de precipitação pluviométrica média anual para o Estado do Tocantins - Ano 2011

Fonte: Elaborado pela autora conforme dados da SEPLAN-TO (2012b)

Tabela 23 - Erosividade da chuva nas estações da Fazenda Santa Rita e da cidade de Marianópolis

ANO 2011 MESES	FAZENDA SANTA RITA		MARIANÓPOLIS	
	PRECIPITAÇÃO (mm)	EROSIVIDADE (t/ha.mm/h)	PRECIPITAÇÃO (mm)	EROSIVIDADE (t/ha.mm/h)
Janeiro	216,60	153,91	286,10	161,75
Fevereiro	184,40	117,07	230,60	112,10
Março	257,70	206,80	412,70	301,53
Abril	37,00	7,63	272,80	149,17
Maio	15,00	1,64	0,00	0,00
Junho	0,00	0,00	0,00	0,00
Julho	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	3,10	0,07
Setembro	0,00	0,00	0,00	0,00
Outubro	169,70	101,65	256,70	134,52
Novembro	166,50	98,41	291,20	166,68
Dezembro	166,20	98,11	243,20	122,71
TOTAL	1213,10	785,22	1996,40	1148,53

Fonte: Elaborada pela autora a partir da base de dados geográficos da ANA (2015)

Com base na tabela 23 e na metodologia de Beltrame (1994), foi gerado o quadro de classificação dos índices de erosividade para o Estado do Tocantins com seus respectivos símbolos e subíndices (Quadro 14).

Quadro 14 - Classificação dos índices de erosividade para o Estado do Tocantins

Índice (t/ha.mm/h)	Qualificação	Símbolo e Subíndice
Abaixo de 785,22	Erosividade débil	E1
785,22 a 906,32	Erosividade média	E2
906,32 a 1027,43	Erosividade forte	E3
1027,43 a 1148,53	Erosividade muito forte	E4
Acima de 1148,53	Erosividade excessiva	E5

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994) com base nos dados da ANA (2015)

A tabela de erosividade da chuva para a bacia do córrego Cana-brava (Tabela 24) foi elaborada com uso dos dados de precipitação da estação pluviométrica de Aurora do Tocantins.

Tabela 24 - Erosividade da chuva para a estação de Aurora do Tocantins - TO

MESES	Precipitação média (mm) Anos 1986 a 2011	Erosividade média (t/ha.mm/h) Anos 1986 a 2011
Janeiro	290,22	182,20
Fevereiro	280,33	171,77
Março	292,50	184,64
Abril	172,58	75,30
Maio	52,97	10,11
Junho	1,17	0,02
Julho	0,22	0,00
Agosto	1,99	0,04
Setembro	24,62	2,75
Outubro	122,15	41,84
Novembro	253,23	144,51
Dezembro	293,82	186,06
TOTAL	1785,80	999,24

Fonte: Elaborada pela autora conforme os dados da ANA (2015)

Com base nos resultados encontrados na tabela 24, foi gerado o quadro 15, que apresenta o índice de erosividade para a bacia do córrego Cana-brava. Cabe salientar que, não foi possível obter um detalhamento da erosividade da chuva por setor, em virtude da pequena área de abrangência da bacia. Dessa forma, o valor do parâmetro E encontrado foi atribuído para os três setores.

Quadro 15 - Índices de erosividade para os setores A, B e C e respectivos símbolos e subíndices

Setor	Índice (t/ha.mm/h)	Qualificação	Símbolo e Subíndice
Setor A	999,24	Erosividade forte	E₃
Setor B	999,24	Erosividade forte	E₃
Setor C	999,24	Erosividade forte	E₃

Fonte: Elaborado pela autora de acordo com Beltrame (1994)

3.2.4 Determinação do parâmetro potencial erosivo do solo (PE)

De acordo com Guerra e Guerra (2003, p. 229), o termo erodibilidade refere-se “a susceptibilidade que os solos têm de ser erodidos. As propriedades dos solos [...] influenciam na maior ou menor erodibilidade, facilitando ou dificultando a ação da energia cinética [...] das águas das chuvas e do escoamento superficial”.

Segundo o IBGE (2009b), a erodibilidade pode ser definida como a resistência do solo à remoção e ao transporte, e pode ser influenciada por fatores como: as propriedades do solo, a posição topográfica, o gradiente da vertente e o montante de perturbação antrópica.

A erodibilidade do solo consiste na sua suscetibilidade ou vulnerabilidade à erosão. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), sob as mesmas condições de chuva, um solo com alta erodibilidade sofrerá mais erosão que outro com menor erodibilidade. De acordo com os autores, os solos possuem algumas características que influenciam na sua vulnerabilidade à erosão, como a permeabilidade e a capacidade de absorção de água bem como sua resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e da enxurrada.

De acordo com Beltrame (1994), o parâmetro de potencial erosivo do solo (PE) está relacionado à geologia, geomorfologia, declividade e textura do solo. A seguir, são descritas as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da área de estudo:

a) Geologia da bacia do córrego Cana-brava

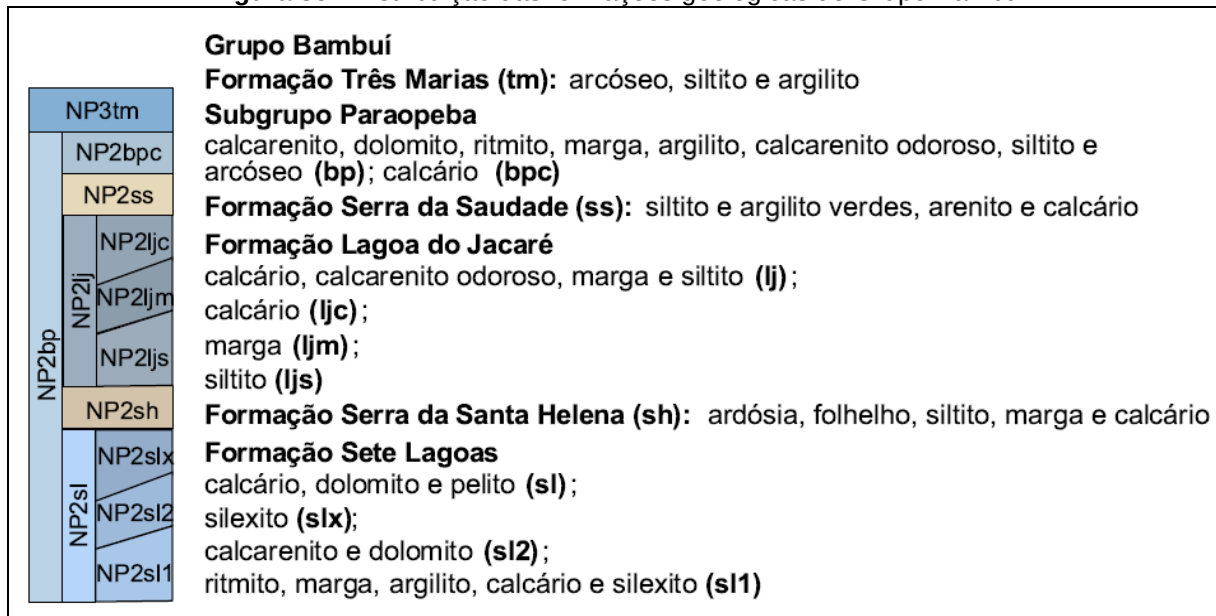
Segundo Moraes (2013), a área de estudo está localizada na Bacia Sedimentar Sanfranciscana, na qual ocorrem as seguintes unidades geológicas (da base para o topo): Complexo Almas-Cavalcante (Embasamento Cristalino), Grupo Bambuí, Grupo Urucuia, Grupo Areado e Depósitos Aluvionares Recentes.

O Grupo Bambuí data do período neoproterozóico e é constituído por calcários, calcários dolomíticos, dolomitos, argilitos, siltitos, folhelhos, margas, arcóseos e os termos intermediários entre essas litologias (BRASIL, 1982).

O Grupo Bambuí é composto pela Formação Três Marias e pelo Subgrupo Paraopeba. O Subgrupo Paraopeba, por sua vez, é subdividido em: Formação Serra

da Saudade, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra da Santa Helena e Formação Sete Lagoas (Figura 35) (SOUZA et al., 2004).

Figura 35 - Distribuição das formações geológicas do Grupo Bambuí



Fonte: Souza et al. (2004)

A geologia da bacia do córrego Cana-brava é constituída principalmente pelo Subgrupo Paraopeba (mais de 55% da área) e pela Formação Lagoa do Jacaré (mais de 44% da área), conforme demonstrado na tabela 25 e na figura 36.

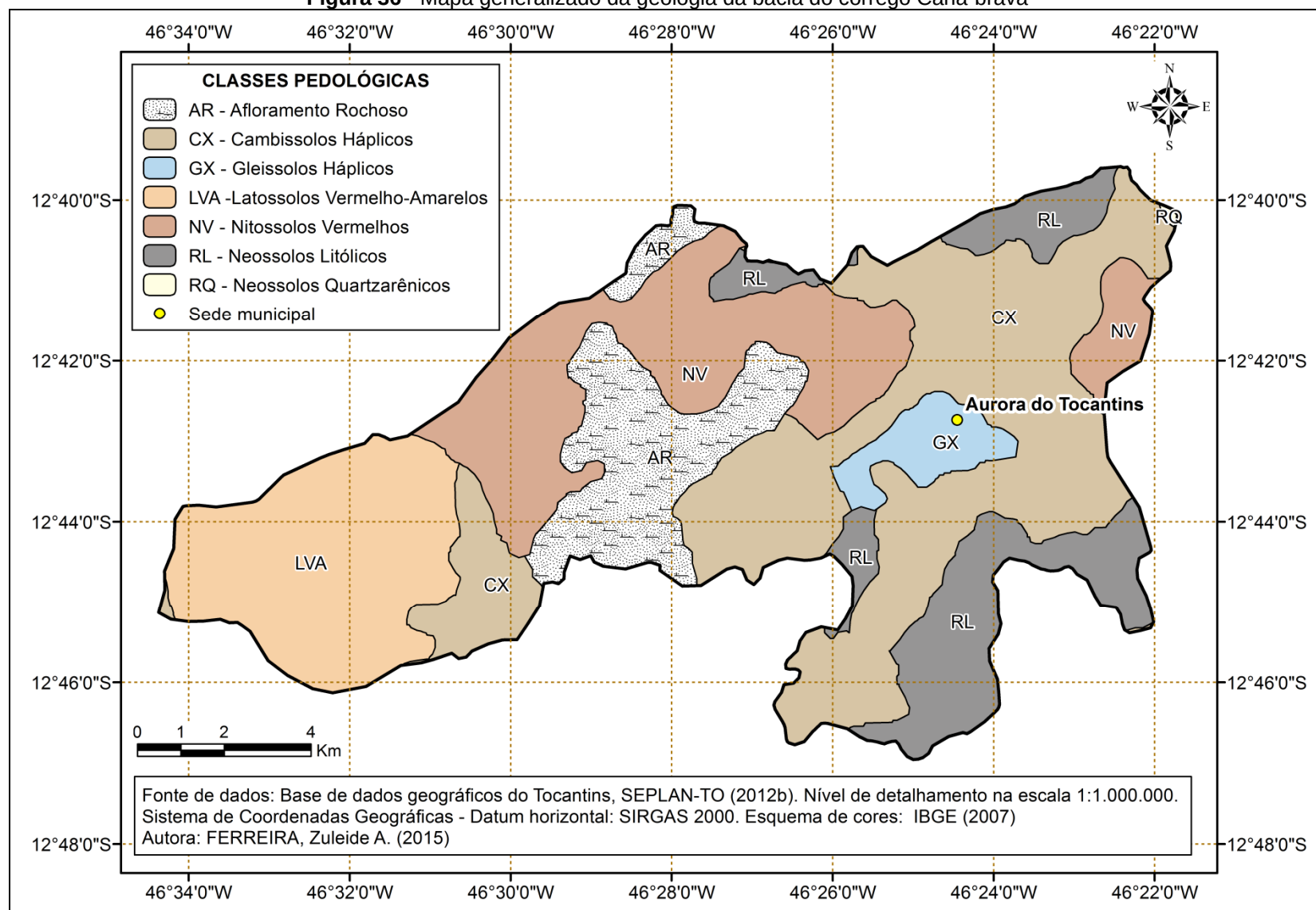
Tabela 25 - Geologia da bacia do córrego Cana-brava - Distribuição por área

Composição Geológica	Área (Km²)	Percentual (%)
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	0,48	0,30
Formação Lagoa do Jacaré	71,23	44,33
Formação Serra de Santa Helena	0,07	0,04
Subgrupo Paraopeba	88,91	55,33
TOTAL	160,69	100

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados do CPRM (2014)

Cabe salientar que, de acordo com Lacerda Filho et al. (1999), em alguns locais, onde há carência de dados, foi necessário reunir todas as formações do Grupo Bambuí abaixo da Formação Três Marias, sob a denominação única de Subgrupo Paraopeba.

Figura 36 - Mapa generalizado da geologia da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora conforme os dados do CPRM (2014)

b) Geomorfologia da bacia do córrego Cana-brava

A bacia do córrego Cana-brava está situada nos Patamares do Chapadão Ocidental (Unidade Geomorfológica), sobre os domínios geomorfológicos de bacias sedimentares e coberturas inconsolidadas. Quanto à natureza do modelado, a área de estudo apresenta superfícies de aplanamento (pediplano retocado inumado) e de dissolução (carste descoberto e em exumação) (Figura 37) (IBGE, 2009a).

Segundo Brasil (1982), a geomorfologia da área é constituída por uma superfície de aplanamento retocada inumada (Pri), que após sucessivas fases de retomada de erosão, geraram sistemas de planos inclinados e alguns levemente côncavos, onde pode ocorrer cobertura detrítica e/ou encouraçamentos maiores que um metro de espessura, que indicam remanejamentos sucessivos.

De acordo com IBGE (2009b, p. 40), a ocorrência de superfície de aplanamento retocada inumada (ou pediplano retocado inumado) é perceptível em "depressões pediplanadas interplanálticas e periféricas tabuliformes e no sopé de escarpas que dominam os níveis de erosão inferiores e, eventualmente, nos topos de planaltos e chapadas ao longo dos vales".

A geomorfologia da área de estudo apresenta também dois modelados de dissolução, denominados carste descoberto (Kd) e carste em exumação (Ke). O carste descoberto consiste num conjunto de formas de dissolução que podem ser originadas em superfícies (lapiás) ou descobertas pela remoção das coberturas preexistentes. O carste em exumação, por sua vez, é caracterizado por conjuntos de formas de dissolução que são parcialmente expostas em superfície por erosão de uma cobertura preexistente (BRASIL, 1982).

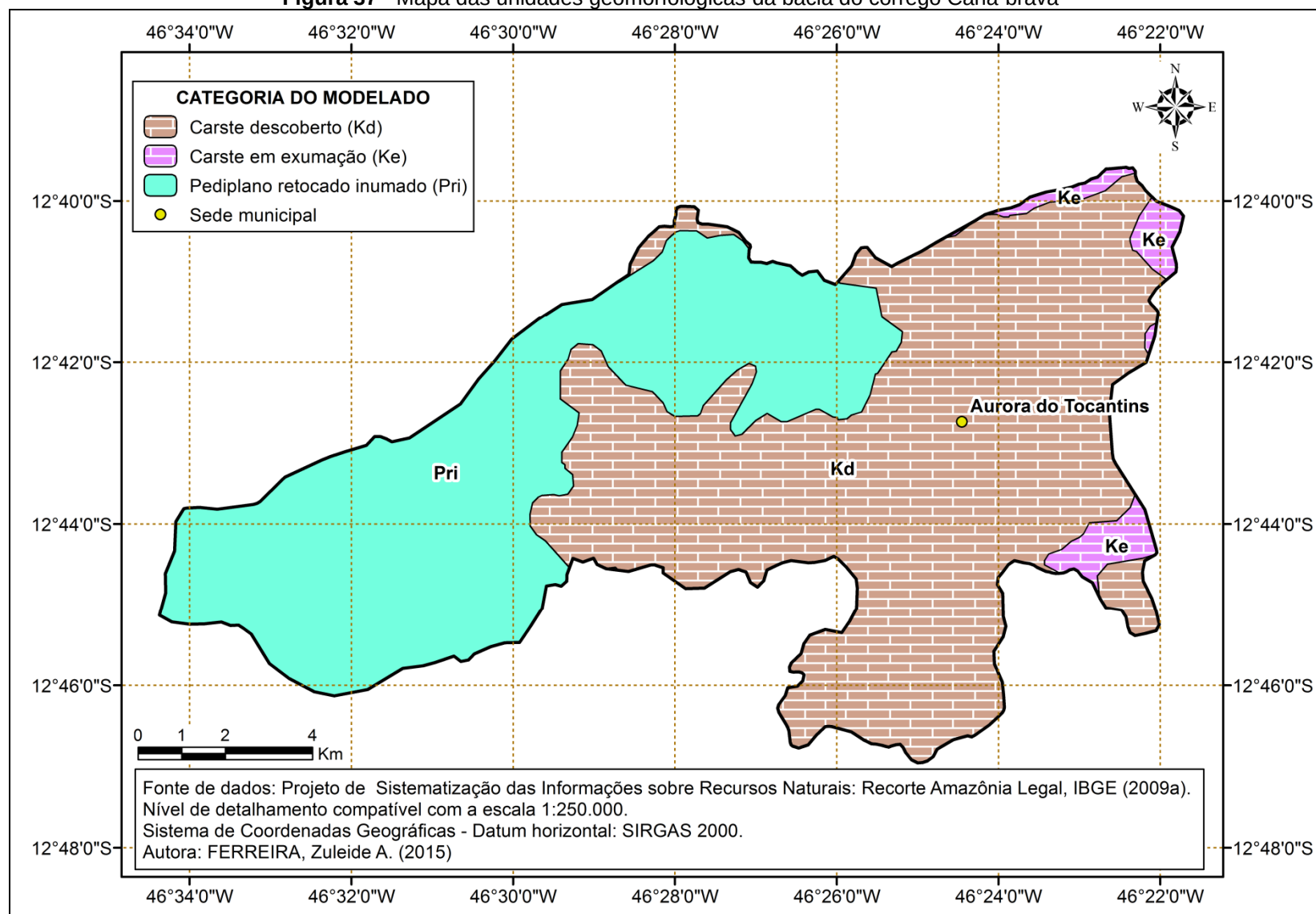
A tabela 26 apresenta a distribuição por área da geomorfologia da bacia do córrego Cana-brava, onde se percebe a predominância do modelado de dissolução carste descoberto (56,80% da área), seguido pelo modelado de aplanamento retocado inumado (40,29%) e o carste em exumação (2,91%).

Tabela 26 - Geomorfologia da bacia do córrego Cana-brava - Distribuição por área

Categoria do Modelado	Área (Km²)	Percentual (%)
Carste descoberto (Kd)	91,27	56,80
Pediplano Retocado Inumado (Pri)	64,74	40,29
Carste em exumação (Ke)	4,68	2,91
TOTAL	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados do IBGE (2009a)

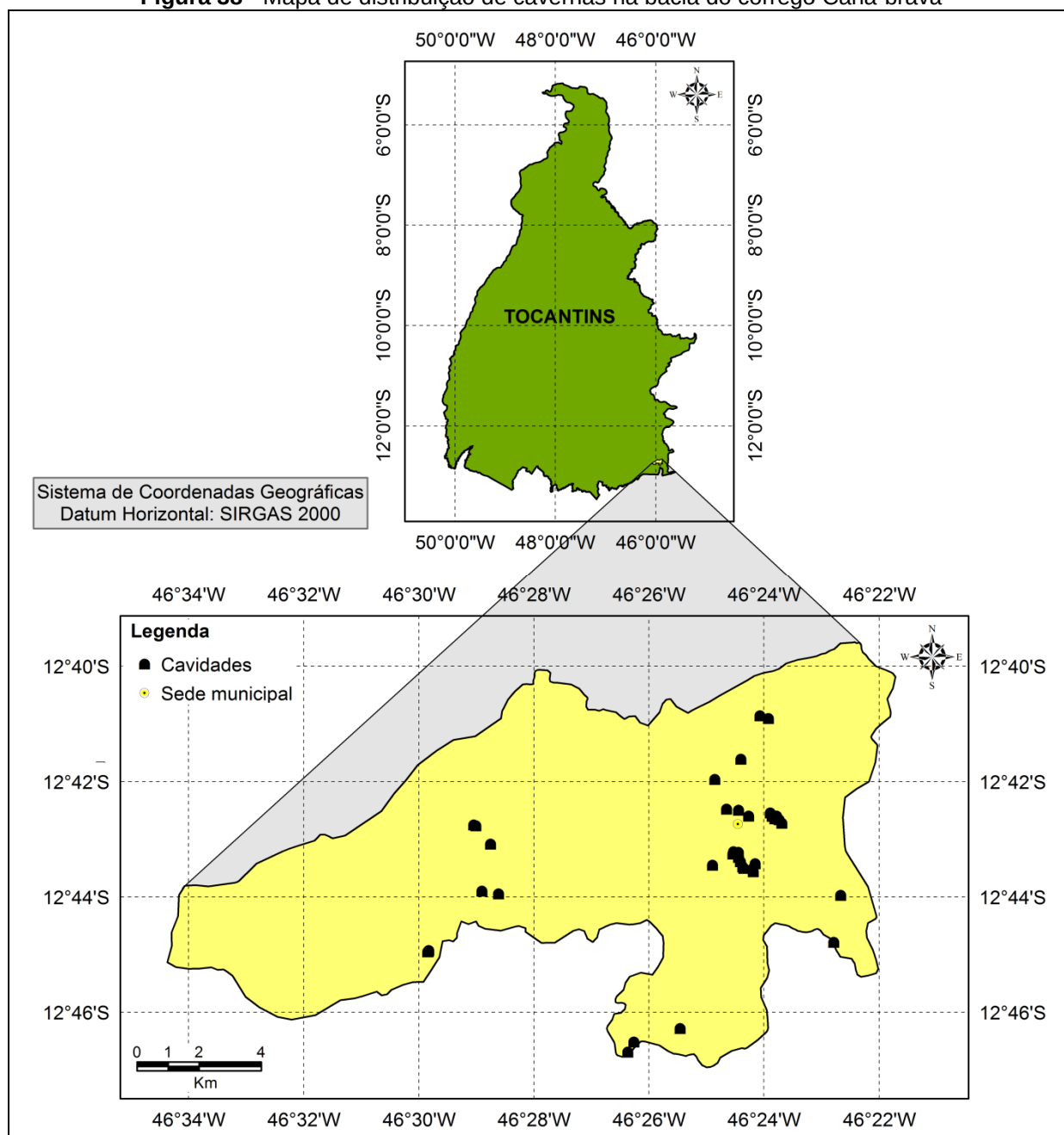
Figura 37 - Mapa das unidades geomorfológicas da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora de acordo com IBGE (2009a)

Aproximadamente 60% da área da bacia do córrego Cana-brava está situada em ambiente cárstico, sendo que podem ser visualizadas diversas feições cársticas na região (dolinas, *poljés*, cavernas, humes e lapiás). De acordo com os dados do CECAV (2014b), atualmente existem 40 cavernas cadastradas no interior da bacia conforme demonstra a figura 38.

Figura 38 - Mapa de distribuição de cavernas na bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas do CECAV, situação em 31 de agosto de 2014. Organizado pela autora.

Ao analisar os aspectos físicos da bacia do córrego Cana-brava, pode-se perceber uma maior rugosidade do relevo em seu alto e médio curso, devido à presença de feições cársticas como morros calcários e humes⁵. O baixo curso da bacia, por sua vez, apresenta menor rugosidade do relevo, o que tende a favorecer a exploração agropecuária pelo fato de facilitar a utilização de maquinários agrícolas. Outro aspecto observado foi a instalação da cidade de Aurora do Tocantins no alto curso da bacia, e apesar da rugosidade constatada neste setor, pode-se verificar que a mesma está situada sobre uma planície denominada *poljé*. De acordo com o Piló (2000, p. 93), os *poljés* consistem em "largas depressões fechadas [...] com paredes abruptas, fundo plano rochoso, ou mais comumente, recoberto por argilas de descalcificação, aluviões ou depósitos lacustres".

c) Pedologia da bacia do córrego Cana-brava

A tipologia dos solos da área de estudo é composta, segundo a base de dados geográficos da SEPLAN-TO (2012b), por Afloramento Rochoso (AR), Cambissolos Háplicos (CX), Gleissolos Háplicos (GX), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), Neossolos Litólicos (RL), Neossolos Quartzarênicos (RQ) e Nitossolos Vermelhos (NV) distribuídos espacialmente conforme a tabela 27 e a figura 39.

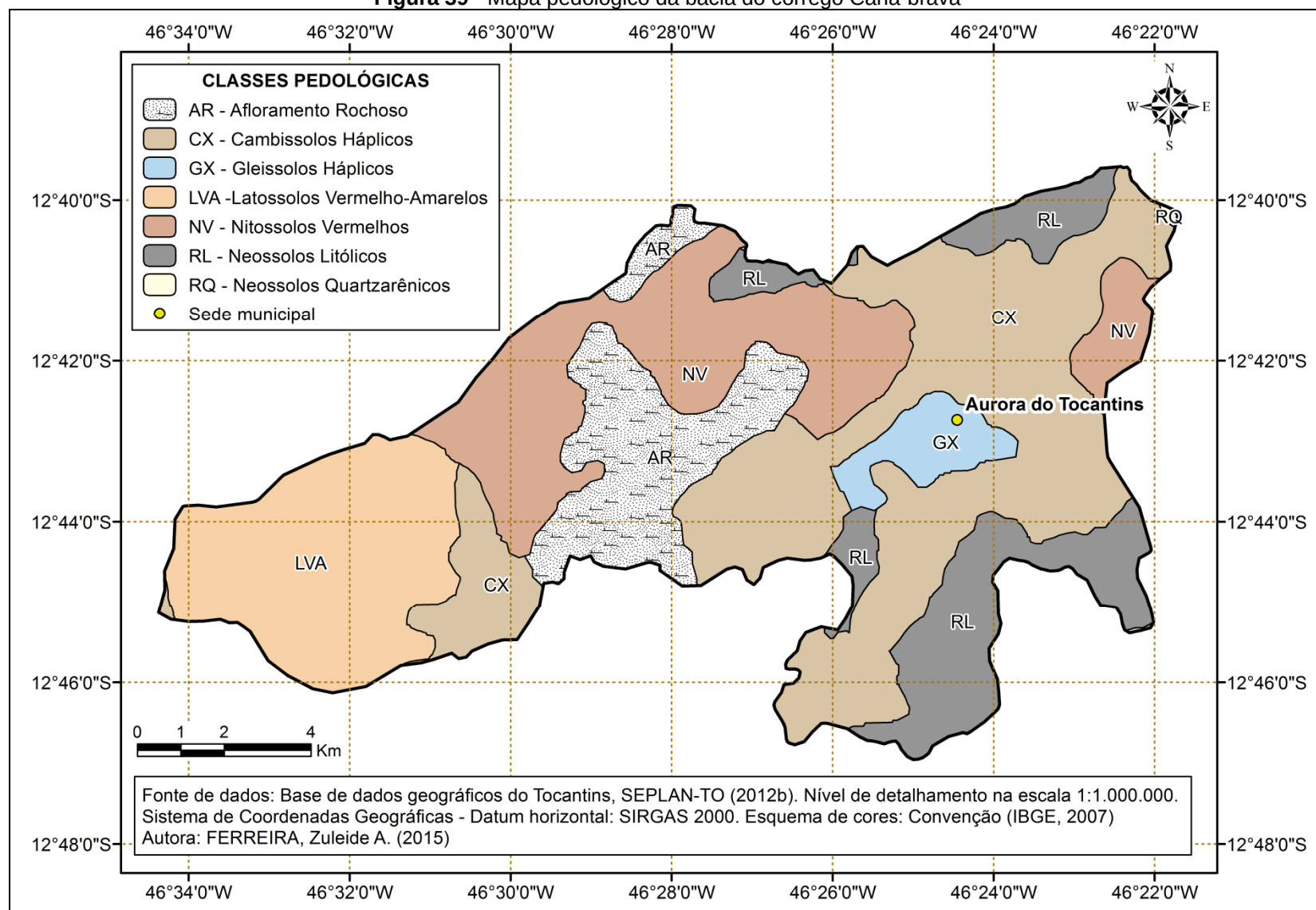
Tabela 27 - Pedologia da bacia do córrego Cana-brava - Distribuição por área

Classes Pedológicas	Área km	%
Afloramento Rochoso (AR)	19,09	11,88
Cambissolos Háplicos (CX)	56,96	35,45
Gleissolos Háplicos (GX)	5,22	3,25
Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA)	26,75	16,65
Neossolos Litólicos (RL)	20,54	12,78
Neossolos Quartzarênicos (RQ)	0,12	0,07
Nitossolos Vermelhos (NV)	32,01	19,92
TOTAL	160,69	100,00

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da SEPLAN-TO (2012b)

⁵ Morros isolados presentes na planície de um *poljé* (BIGARELLA, 2007).

Figura 39 - Mapa pedológico da bacia do córrego Cana-brava



Fonte: Elaborado pela autora de acordo com os dados da SEPLAN-TO (2012b)

Para Oliveira (2008), o afloramento rochoso não faz parte do solo, uma vez que este constitui uma camada mineral de material consolidado composta de substrato rochoso praticamente não-intemperizado.

De acordo com o IBGE (2007), os cambissolos podem ser pedregosos, cascalhentos ou ainda, rochosos e apresentam grande variação quanto à profundidade, com drenagem variando de acentuada a imperfeita e podem apresentar qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi). Estes solos estão presentes em todas as regiões do Brasil, porém, são mais comuns em regiões serranas ou montanhosas.

Segundo a EMBRAPA (2006), os cambissolos possuem três classes quanto ao segundo nível categórico (subordens): cambissolos húmicos (solos com horizonte A húmico), cambissolos flúvicos (solos com caráter flúvico dentro de 120 centímetros a partir da superfície do solo) e cambissolos háplicos (solos que não se enquadram nas classes anteriores). Para o IBGE (2007), denominam-se háplicos aqueles que se referem a todos os demais solos não distinguidos nas classes precedentes.

Para Santos et al. (2015a), os cambissolos háplicos são encontrados principalmente em relevos forte ondulados ou montanhosos e não apresentam horizonte superficial A húmico. Ainda segundo os autores, esses solos possuem fertilidade variável e suas principais limitações para uso são a pequena profundidade, declives acentuados e ocorrência de pedras na massa do solo.

Os gleissolos háplicos consistem em solos minerais, hidromórficos e que apresentam horizontes A (mineral) ou H (orgânico), seguido de um horizonte chamado glei (cor cinzento-olivácea, esverdeada ou azulada), o qual é resultante de modificações sofridas pelos óxidos de ferro presentes no solo em condições de encharcamento. Esses solos são mal drenados, apresentam textura bastante variável ao longo do perfil e estão localizados em áreas de relevo plano com a presença de várzeas com vegetação de vereda, campos higrófilos ou hidrófilos (SOUSA; LOBATO, 2015).

Observando o mapa de solos da bacia do córrego Cana-brava, pode-se verificar que a ocorrência dos gleissolos háplicos coincide com a localização do *poljé*, onde está situada a cidade de Aurora do Tocantins. Para Guimarães (2012), os *poljés* consistem em planícies onde há grande quantidade de sedimentos intemperizados transportados do alto das vertentes e depositados na área mais plana, dando origem aos solos aluviais ou coluviais. De acordo com Santos e Zaroni

(2015), os gleissolos se desenvolvem em materiais colúvio-aluviais e em sedimentos recentes localizados nas proximidades de cursos d'água. Para os autores, esses solos podem ser oriundos de materiais estratificados e se desenvolvem em áreas onde existe influência de afloramento de água subterrânea (surgência). Ainda segundo os autores, os gleissolos podem ocorrer tanto em relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos como em áreas abaciadas e depressões.

Os latossolos vermelho-amarelos constituem solos profundos, muito porosos e uniformes quanto à textura, cor e estrutura de profundidade. Esses solos são muito utilizados para agropecuária e ocorrem em ambientes bem drenados com relevo plano, suave ondulado ou ondulado (ALMEIDA et al., 2015). De acordo com IBGE (2007), são solos profundos, com boa drenagem, cores vermelho-amareladas e com baixa fertilidade natural, apesar de algumas ocorrências de solos eutróficos. São muito explorados por lavouras de grãos e pastagem quando apresentam textura argilosa e média, respectivamente.

Os neossolos são compostos por material mineral ou orgânico pouco espesso e devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário, seja por causa da maior resistência ao intemperismo, composição químico-mineralógica ou pela ação do clima, relevo ou tempo, que tendem a limitar a evolução dos solos EMBRAPA (2006).

Os neossolos litólicos constituem solos rasos, com no máximo 50 centímetros de profundidade e apresentam baixos teores de fosfatos em condições naturais. Esses solos ocorrem geralmente em locais de declividade mais acentuada e normalmente, são indicados para preservação da fauna e flora (SANTOS et al., 2015b). Os neossolos quartzarênicos, por sua vez, constituem solos profundos com textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelada abaixo do horizonte A. Apresentam teores muito baixos de fósforo, matéria orgânica e micronutrientes, além de intensa lixiviação de nitrato, devido à sua textura arenosa, a qual também favorece a erosão. Esses solos ocorrem em relevo plano ou suave ondulado, sendo os mais apropriados para o reflorestamento (ALMEIDA et al., 2015).

Conforme Souza e Lobato (2015), os nitossolos vermelhos são solos minerais, não-hidromórficos, derivados do intemperismo de rochas básicas e ultrabásicas ricas em minerais ferromagnesianos. Esses solos têm cor vermelho-escura tendendo à arroxeada e, caso estejam localizados em relevos ondulados,

apresentam risco de erosão. Ocorrem em áreas bem drenadas, próximas a cursos d'água com predominância de rochas básicas (basalto e diabásio), em porções médias e inferiores de encostas onduladas até fortemente onduladas.

3.2.4.1 Determinação do parâmetro potencial erosivo do solo (PE) para a bacia do córrego Cana-brava

Para a determinação do parâmetro potencial erosivo do solo (PE) da bacia do córrego Cana-brava foi necessário o cruzamento de informações como geologia, geomorfologia, pedologia, declividade e uso e ocupação da terra, através de uma análise de multicritérios.

De acordo com Moura (2007, p. 2901):

A análise de multicritérios é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como *Árvore de Decisões* ou como *Análise Hierárquica de Pesos*. O procedimento se baseia no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples *Média Ponderada*, mas há pesquisadores que já utilizam a lógica *Fuzzy* para atribuir os pesos e notas.

De acordo com Muñoz (2005), as técnicas de inferência espacial consistem em ferramentas que possibilitam a combinação de dados multifontes e podem ser utilizadas na análise e descrição de dados, além de favorecer a previsão de fenômenos por meio de modelos prospectivos empíricos, fornecendo resultados em planos de informações com diferentes representações de tipo temático e numérico.

A análise de multicritérios utilizada nesta pesquisa foi realizada através da média ponderada, onde foi necessária uma reclassificação dos mapas de geologia, geomorfologia, declividade, pedologia e uso e ocupação da terra, atribuindo uma ponderação aos valores gerados pelos mapas supracitados com pesos que variam

de 1 a 10, onde 1 equivale à pouca suscetibilidade e 10 equivale à muita suscetibilidade à erosão, conforme demonstram os quadros 16 a 20.

Quadro 16 - Valores atribuídos para variável Geologia

Composição Geológica	Valor atribuído
Subgrupo Paraopeba	9
Formação Lagoa do Jacaré	9
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	7
Formação Serra de Santa Helena	9

Fonte: SANTOS (2010); CREPANI et al. (2001); JANSEN (2013)

Quadro 17 - Valores atribuídos para variável Geomorfologia

Categoria do Modelado	Valor atribuído
Pediplano Retocado Inumado (Pri)	1
Carste descoberto (Kd)	10
Carste em exumação (Ke)	10

Fonte: RICCIARDI; JÚNIOR (2010); SILVA et al. (2014)

Quadro 18 - Valores atribuídos para variável Declividade

Declividade	Relevo	Valor atribuído
0 a 3%	Plano	1
3 a 8%	Suave Ondulado	4
8 a 20%	Ondulado	6
20 a 45%	Forte Ondulado	8
45 a 75%	Montanhoso	10
Acima de 75%	Escarpado	10

Fonte: Adaptado de Bonna (2011)

Quadro 19 - Valores atribuídos para variável Pedologia

Classe de solos	Valor atribuído
Afloramento Rochoso (AR)	2
Cambissolos Háplicos (CX)	10
Gleissolos Háplicos (GX)	2
Latosolos Vermelho-Amarelos (LVA)	6
Neossolos Litólicos (RL)	9
Neossolos Quartzarênicos (RQ)	7
Nitossolos Vermelhos (NV)	4

Fonte: PINTO et al. (2015); BONNA (2011);
BELINTANI; MEIRELLES (2007); PAULINO (2013)

Quadro 20 - Valores atribuídos para variável Uso e Ocupação da terra

Tipo de cobertura	Valor atribuído
Agropecuária	8
Área Urbanizada	5
Campo Rupestre	1
Cerrado Sentido Restrito	3
Mata de Galeria	2

Fonte: GONÇALVES et al. (2011); SILVA; PANCHER (2013);
PINTO et al. (2015)

O mapa de potencial erosivo do solo da bacia do córrego Cana-brava (Figura 40) foi gerado a partir de uma análise multicriterial, onde foram atribuídos pesos de 0 a 100% para as variáveis geologia, geomorfologia, declividade, pedologia e uso e ocupação da terra, conforme demonstrado na tabela 28.

Tabela 28 - Variáveis e pesos para potencialidade erosiva do solo

Variável	Peso (0 a 100%)
Declividade	30%
Uso e Ocupação da terra	25%
Pedologia	20%
Geomorfologia	15%
Geologia	10%
TOTAL	100%

Fonte: Adaptado de Diniz et al. (2008)

Assim como na metodologia de Beltrame (1994), foram definidas quatro classes de potencial erosivo dos solos para a bacia do córrego Cana-brava:

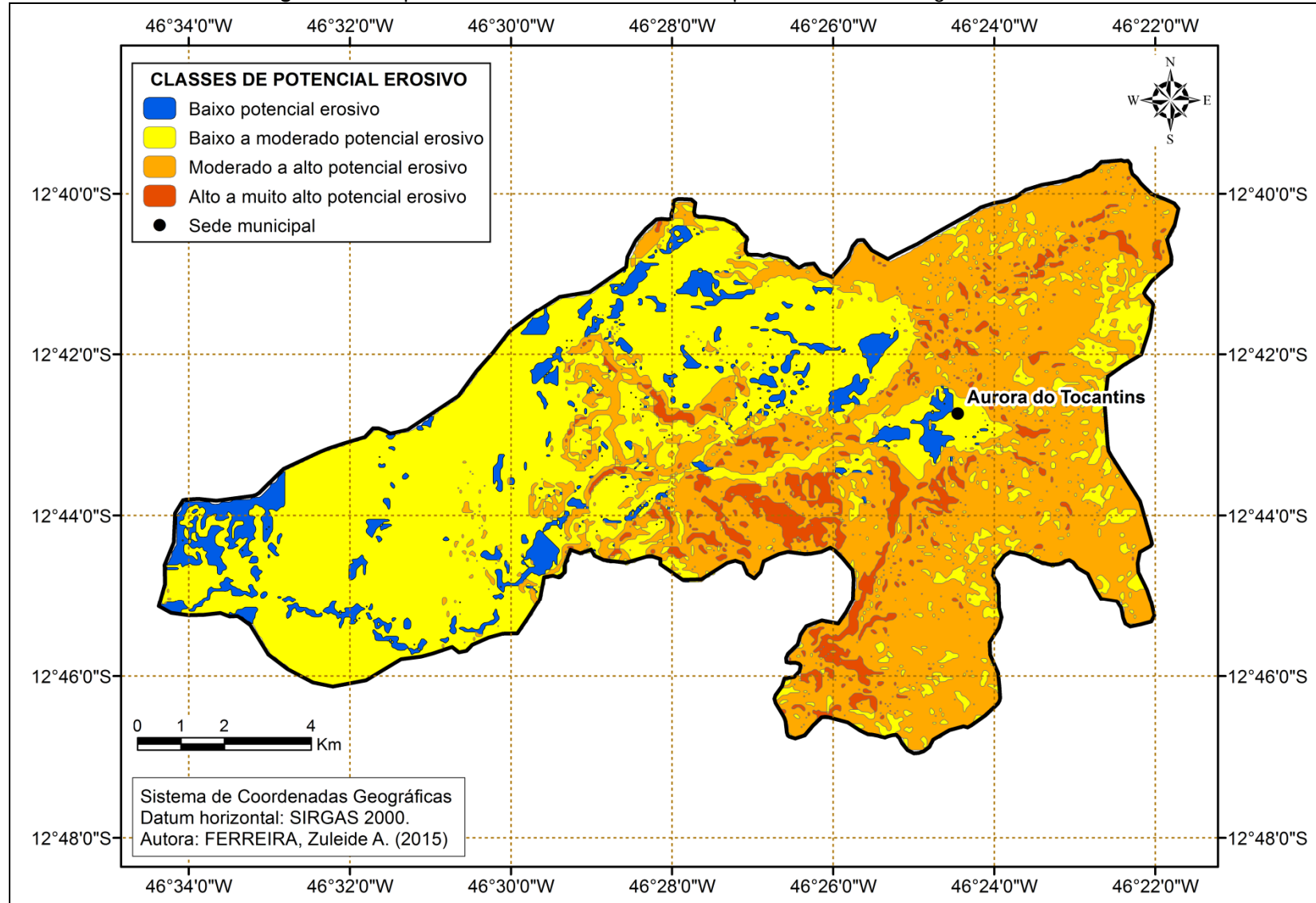
CLASSE 1: Esta classe corresponde às áreas com baixo potencial erosivo do solo, onde predominam declividades de até 8%. Composta por pequenos terraços fluviais, esta classe ocupa apenas 10,80 km², o que corresponde a 6,72% da área total da bacia do córrego Cana-brava. Essas áreas são compostas por solos das classes gleissolos háplicos (GX), nitossolos vermelhos (NV) e latossolos vermelho-amarelos (LVA) presentes sobre o modelado pediplano retocado inumado (Pri).

CLASSE 2: Composta por áreas de baixo a moderado potencial erosivo, com declividades que variam entre 8 a 20%. Essas áreas ocupam regiões de meia encosta, na base de cristas e abrangem 75,70 km², o que corresponde a 47,11% da área total da bacia. Nessas áreas prevalecem solos das classes gleissolos háplicos (GX), nitossolos vermelhos (NV), latossolos vermelho-amarelos (LVA), onde aparecem também os afloramentos rochosos (AR) e os cambissolos háplicos (CX), ambos presentes sobre o modelado pediplano retocado inumado (Pri).

CLASSE 3: Esta classe representa as áreas de moderado a alto potencial erosivo, onde predomina um relevo forte ondulado, com declividades bem heterogêneas, que variam de 20 a 45%. Ocupa um percentual de 40,44 da área total da bacia, o que corresponde a 64,98 km². Os solos mais comuns nessas áreas são os cambissolos háplicos (CX), os neossolos litólicos (RL), neossolos quartzarênicos (RQ) e afloramentos rochosos (AR). O carste descoberto e o carste em exumação predominam nessa classe.

CLASSE 4: Apresenta áreas com potencial erosivo alto a muito alto, onde prevalecem declividades acima de 45%; ocupam áreas de maiores altitudes da bacia e são compostas, em sua maioria, pelos solos cambissolos háplicos (CX). A geomorfologia é formada por cristas angulares e arredondadas sobre o carste descoberto. Esta classe abrange uma área de 9,21 km², o que representa um total de 5,73% da área da bacia.

Figura 40 - Mapa do Potencial Erosivo dos Solos para a bacia do córrego Cana-brava



Para obtenção do índice de potencial erosivo dos solos para a bacia do córrego Cana-brava, foi necessário um escalonamento em 8 níveis, onde foram pré-determinados os valores mínimo (0) e máximo (1) para este parâmetro de acordo com a metodologia Beltrame (1994), conforme demonstra o quadro 21.

Quadro 21 - Escalonamento dos índices do potencial erosivo, qualificação e símbolo respectivo

Potencial Erosivo	Símbolo	Escalonamento dos índices de potencial erosivo dos solos
Muito baixo	PE ₁	0,000 a 0,125
Baixo	PE ₂	0,126 a 0,250
Baixo a moderado	PE ₃	0,251 a 0,375
Moderado	PE ₄	0,376 a 0,500
Moderado a alto	PE ₅	0,501 a 0,625
Alto	PE ₆	0,626 a 0,750
Alto a muito alto	PE ₇	0,751 a 0,875
Muito alto	PE ₈	0,876 a 1,000

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994)

A tabela 29, elaborada de acordo com a metodologia de Beltrame (1994), demonstra o cálculo do potencial erosivo do solo para cada setor da bacia do córrego Cana-brava.

Tabela 29 - Cálculo do potencial erosivo do solo da bacia do córrego Cana-brava por setor

Setor	Potencial Erosivo	Área (km ²) (1)	Índice do Potencial Erosivo do Solo (2)	Superfície Reduzida (3)	Índice do Potencial Erosivo do solo Total por setor (4)
A	Baixo	1,63	0,25	0,41	
	Baixo a moderado	13,81	0,50	6,91	
	Moderado a alto	47,96	0,75	35,97	
	Alto a muito alto	5,19	1,00	5,19	
	TOTAL	68,59		48,48	0,71
B	Baixo	4,13	0,25	1,03	
	Baixo a moderado	30,09	0,50	15,05	
	Moderado a alto	15,89	0,75	11,92	
	Alto a muito alto	4,06	1,00	4,06	
	TOTAL	54,17		32,06	0,59
C	Baixo	5,06	0,25	1,27	
	Baixo a moderado	31,92	0,50	15,96	
	Moderado a alto	0,94	0,75	0,71	
	Alto a muito alto	0,01	1,00	0,01	
	TOTAL	37,93		17,95	0,47

Fonte: Elaborada pela autora conforme Beltrame (1994)

O índice do potencial erosivo do solo foi calculado da seguinte forma:

(1) = Área ocupada por cada classe de potencial erosivo em km²

(2) = Índices de potencial erosivo

(3) = Produto dos valores das colunas (1) e (2)

(4) = Razão do somatório da coluna (3) pelo somatório coluna (1)

O quadro 22 foi gerado a partir dos resultados da tabela 29 e apresenta os índices de potencial erosivo para cada setor da bacia do córrego Cana-brava.

Quadro 22 - Classes de potencial erosivo dos solos por setores, respectivos índices e símbolos

Setor	Potencial Erosivo	Índice	Símbolo
A	Alto	0,71	PE₆
B	Moderado a alto	0,59	PE₅
C	Moderado	0,47	PE₄

Fonte: Elaborado pela autora de acordo com Beltrame (1994)

3.2.5 Determinação do parâmetro de densidade de drenagem (DD) para a bacia do córrego Cana-brava

A densidade de drenagem (DD) consiste num parâmetro que é definido pela razão do comprimento total dos cursos d'água pela área total da bacia. Este parâmetro foi definido inicialmente por Horton (1945 citado por CHRISTOFOLETTI, 1980), e pode ser calculado pela equação 3:

$$DD = \frac{Lt}{A} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

DD = Densidade de drenagem

Lt = Comprimento total dos canais

A = Área da bacia

De acordo com Beltrame (1994), o cálculo da densidade de drenagem possibilita o conhecimento do potencial de escoamento superficial da bacia e de seus setores, o qual influenciará na intensidade dos processos erosivos na esculturação do relevo. O quadro 23 apresenta a classificação para os valores de densidade de drenagem (DD).

Quadro 23 - Classificação dos valores de densidade de drenagem e simbologia respectiva

Valores da Densidade de Drenagem (km/km²)	Qualificação da Densidade de Drenagem	Símbolo
Menor que 0,50	Baixa	DD ₁
De 0,51 a 2,00	Mediana	DD ₂
De 2,01 a 3,50	Alta	DD ₃
Maior que 3,50	Muito Alta	DD ₄

Fonte: Beltrame (1994)

Para a determinação do parâmetro de Densidade de Drenagem (DD), foram utilizados os dados da hidrografia da bacia do córrego Cana-brava abordados no item 3.1.2. A tabela 30 apresenta os valores de densidade de drenagem para os setores A, B e C.

Tabela 30 - Valores de densidade de drenagem dos setores A, B e C, com respectiva qualificação e simbologia

SETOR	Lt (km)	Área (km²)	DD (km/km²)	Qualificação	Símbolo
A	95,55	68,59	1,39	Mediana	DD₂
B	66,14	54,17	1,22	Mediana	DD₂
C	28,40	37,93	0,75	Mediana	DD₂

Fonte: Elaborada pela autora com base em Beltrame (1994)

3.2.6 Determinação do parâmetro balanço hídrico (BH) para a bacia do córrego Cana-brava

O balanço hídrico consiste no monitoramento do volume de entrada e saída de água no solo, seguindo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) (INMET, 2015).

Para Beltrame (1994), o balanço hídrico representa mais um indicador do potencial natural de degradação e/ou conservação física da bacia hidrográfica, uma vez que, podem ocorrer danos irreversíveis aos recursos naturais renováveis de determinada área, caso existam desequilíbrios no seu balanço hídrico.

O déficit hídrico indica a duração e a época da estação seca, através da correlação entre a precipitação e a evapotranspiração. Para o cálculo do balanço hídrico foi utilizada a equação 4 citada Castany (1968) (BELTRAME, 1994).

$$P = E + Q \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

P = Precipitação total

E = Evapotranspiração real

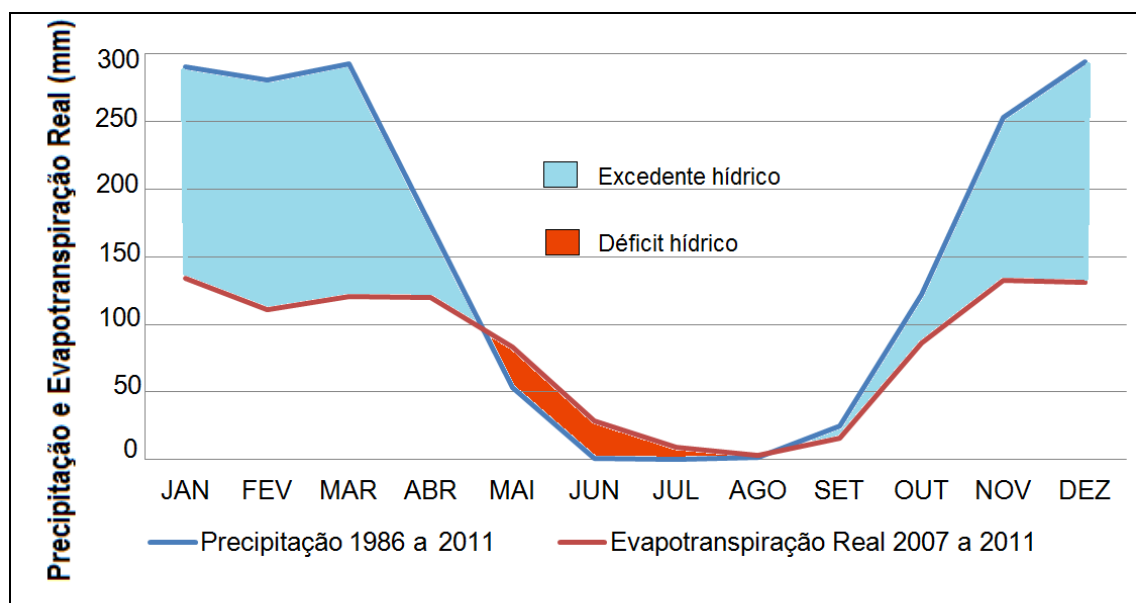
Q = Escoamento total ou excedente hídrico

Para a determinação do balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava, foram utilizados os valores de precipitação da estação pluviométrica de Aurora do Tocantins (ANA, 2015) e os valores de evapotranspiração real da estação evaporimétrica de Taguatinga - TO (INMET, 2015). Cabe salientar que, foi necessário o uso desta estação em virtude desta ser a estação evaporimétrica mais próxima, estando situada há uma distância linear de pouco mais de 30 quilômetros da sede do município de Aurora do Tocantins. Contudo, os dados de evaporação real da estação de Taguatinga somente estão disponibilizados a partir do ano de 2003 e devido a falhas de coleta, só foi possível a utilização dos dados de evaporação real dos anos de 2007 a 2011. A tabela 31 e o gráfico 4 demonstram o balanço hídrico para a bacia do córrego Cana-brava.

Tabela 31 - Balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava

Mês	Precipitação média (mm) 1986 a 2011	Evapotranspiração Real Média 2007 a 2011	Excedente Hídrico	Déficit Hídrico
Janeiro	290,22	133,84	156,38	
Fevereiro	280,33	110,70	169,63	
Março	292,50	120,91	171,59	
Abril	172,58	119,81	52,77	
Mai	52,97	82,87		29,90
Junho	1,17	28,89		27,72
Julho	0,22	9,49		9,27
Agosto	1,99	3,25		1,26
Setembro	24,62	15,65	8,97	
Outubro	122,15	86,53	35,62	
Novembro	253,23	132,22	121,01	
Dezembro	293,82	131,05	162,77	
TOTAL	1785,80	975,21	878,74	68,15

Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados da ANA (2015) e INMET (2015)

Gráfico 4 - Balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da ANA (2015) e INMET (2015)

O excedente hídrico médio para o Estado do Tocantins varia de 150 a 650 milímetros por ano (SEPLAN-TO, 2012a). Sendo assim, o quadro 24 apresenta a classificação quanto aos valores do balanço hídrico elaborado conforme a metodologia de Beltrame (1994).

Quadro 24 - Classificação qualitativa dos valores do balanço hídrico e respectivos símbolos

BALANÇO HÍDRICO (BH)	QUALIFICAÇÃO BH	SÍMBOLO
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico superior a 800,00 mm/ano*	Muito alto	BH ₁
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico entre 400 mm/ano** e 800 mm/ano	Alto	BH ₂
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico até 400 mm/ano**	Médio	BH ₃
Com deficiência hídrica em pelo menos um mês do ano com qualquer excedente	Baixo	BH ₄
Obs.: * dobro da média dos valores de excedente hídrico anual para o Estado do Tocantins ** média dos valores de excedente hídrico anual para o Estado do Tocantins		

Fonte: Elaborada pela autora com base em Beltrame (1994) e SEPLAN-TO (2012a)

O quadro 25 demonstra os índices do parâmetro do balanço hídrico para os setores da bacia do córrego Cana-brava, definidos com base nos resultados da tabela 31 e do quadro 24.

Quadro 25 - Índices para parâmetro balanço hídrico para os setores A, B e C

Setor	Qualificação	Símbolo
A	Baixo	BH₄
B	Baixo	BH₄
C	Baixo	BH₄

Fonte: Elaborada pela autora com base em Beltrame (1994)

3.3 FÓRMULA DESCRITIVA FINAL

A fórmula descritiva final (Equação 5), definida por Beltrame (1994), com base na metodologia venezuelana, expressa o estado físico-conservacionista e define numericamente o risco de degradação física de uma bacia hidrográfica.

$$E(f) = COa + CAb + DMc + Ed + PEe + DDf + BHg$$

(Eq. 5)

Onde:

E(f) - Estado físico-conservacionista do setor, proporcional aos parâmetros:

COa - Grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual; e "a" é o índice específico do parâmetro CO que varia de 1 (altamente semelhante) a 5 (nenhuma semelhança).

CAb - Proteção da cobertura vegetal atual; "b" é o índice específico do parâmetro CA que varia entre 1 (máxima proteção) e 7 (nenhuma proteção).

DMc - Declividade média; "c" é o índice específico do parâmetro DM que varia de 1 (plano a suave ondulado) e 4 (escarpado).

Ed - Erosividade da chuva; "d" é o índice específico do parâmetro E que varia entre 1 (erosão débil) e 5 (erosão excessiva).

PEe - Potencial erosivo dos solos; "e" é o índice específico do parâmetro E que varia entre 1 (nulo a ligeiro) e 8 (muito forte).

DDf - Densidade de drenagem; "f" é o índice específico do parâmetro DD que varia entre 1 (baixa densidade) a 4 (muito alta densidade).

BHg - Balanço hídrico; "g" é o índice específico do parâmetro BH que varia de 1 (balanço hídrico muito alto) a 4 (balanço hídrico muito baixo).

Sendo assim, o valor mínimo do somatório dos parâmetros supracitados seria 7, o qual representa o melhor estado físico-conservacionista que a bacia poderia representar. Do mesmo modo, o valor máximo seria 37, o que representa o pior estado físico-conservacionista que a bacia poderia apresentar.

O quadro 26 apresenta uma síntese dos índices obtidos em cada parâmetro para os setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava.

Quadro 26 - Síntese dos índices obtidos para cada parâmetro nos setores A, B e C

Parâmetro	Setor A	Setor B	Setor C
Cobertura Vegetal Original	CO ₃	CO ₃	CO ₄
Cobertura Vegetal Atual	CA ₄	CA ₄	CA ₄
Declividade Média	DM ₂	DM ₂	DM ₁
Erosividade da Chuva	E ₃	E ₃	E ₃
Potencial Erosivo do Solo	PE ₆	PE ₅	PE ₄
Densidade de Drenagem	DD ₂	DD ₂	DD ₂
Balanço Hídrico	BH ₄	BH ₄	BH ₄
Somatório dos Índices	24	23	22

Fonte: Elaborado pela autora conforme Beltrame (1994)

3.4 CÁLCULO DO VALOR CRÍTICO DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO

A equação da reta tem por objetivo a obtenção dos valores finais em percentuais das fórmulas descritivas por setores. Deste modo, o valor mínimo que poderia ser obtido na equação 5 seria 7, o que corresponde ao somatório de todos os índices iguais a 1, representando o melhor estado físico-conservacionista que o setor poderia apresentar. Por outro lado, caso os valores máximos fossem atribuídos a todos os índices, o somatório resultaria em 37, o que representa o pior estado físico-conservacionista que o setor poderia apresentar. Portanto, é possível obter o ângulo de inclinação da reta, plotando os valores mínimo e máximo nos eixos cartesianos, conforme demonstra o desenvolvimento da equação reduzida da reta (Equação 6).

$$y = ax + b$$

(Eq. 6)

Se	$y = 0$	Se	$y = 100$	$37a + b - 100 = 0$
	$x = 7$		$x = 37$	$7a + b = 0 \quad (-1)$
	$7a + b = 0$		$37a + b - 100 = 0$	$30a - 100 = 0$
				$\therefore$
				$a = 3,33$
				$b = - 23,33$

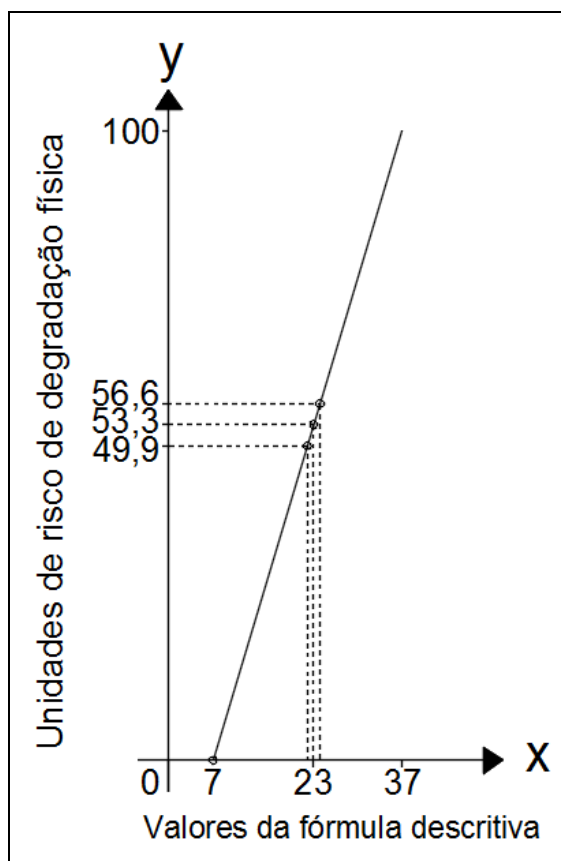
Os valores do somatório dos índices para cada setor deverá ser substituído no eixo das abscissas (eixo x), para o cálculo dos valores das ordenadas (eixo y) que indicarão as unidades de risco de degradação física da bacia, conforme demonstra a tabela 32 e gráfico 5.

Tabela 32 - Cálculo dos valores de unidades de risco de degradação da bacia do córrego Cana-brava

Setor	$\sum (x)$	$y = ax + b$	Y (Unidades de risco) 0 a 100
A	24	$y = 3,33 * 24 + (-23,33)$	56,6
B	23	$y = 3,33 * 23 + (-23,33)$	53,3
C	22	$y = 3,33 * 22 + (-23,33)$	49,9

Fonte: Elaborada pela autora

Gráfico 5 - Representação dos valores da fórmula descritiva final



Fonte: Elaborado pela autora

3.5 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA

A caracterização do diagnóstico físico-conservacionista se apresentou semelhante nos três setores da bacia do córrego Cana-brava, isso porque foram obtidos resultados idênticos para alguns parâmetros atribuídos aos três setores da bacia, o que fez com que os parâmetros divergentes se tornassem decisivos.

Apresentaram valores iguais, para os três setores da bacia do córrego Cana-brava, os parâmetros de cobertura vegetal atual (CA), erosividade da chuva (E), densidade de drenagem (DD) e balanço hídrico (BH).

O parâmetro de cobertura vegetal original apresentou valor idêntico para os setores A e B (CO₃), indicando uma cobertura vegetal atual medianamente semelhante à cobertura vegetal original. O setor C, por sua vez, apresentou um índice (CO₄) que indica baixa semelhança entre a cobertura vegetal original e atual, devido à substituição da cobertura vegetal original (cerrado sentido restrito) por áreas de pastagens e culturas temporárias.

Outro parâmetro divergente entre os setores foi a declividade média, que apresentou novamente valores iguais para os setores A e B (DM₂), o que caracteriza um relevo ondulado. No entanto o setor C, que corresponde ao baixo curso da bacia, este parâmetro apresentou um relevo plano (DM₁).

Já o potencial erosivo do solo apresentou valores diferentes para cada setor da bacia. Isso ocorreu porque foram utilizados elementos bem peculiares na determinação deste, como a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a declividade média e o uso e ocupação da terra, o que possibilitou a identificação de características individuais para cada setor. Deste modo, o setor A apresentou o maior parâmetro de potencial erosivo do solo (PE₆) e o setor C apresentou o menor potencial erosivo do solo (PE₄). Acredita-se que alguns fatores decisivos para este menor potencial erosivo do solo no setor C foram a declividade média (relevo plano) e a geomorfologia (pediplano retocado inumado). Do mesmo modo, os setores A e B apresentaram maior potencial erosivo do solo devido ao relevo ondulado, ao tipo de solo e à presença do carste descoberto e em exumação nestes setores.

Os resultados do diagnóstico físico-conservacionista da bacia do córrego Cana-brava possibilitaram a mensuração do potencial de degradação física de cada setor. Apesar da pouca diferença no valor do somatório dos índices de cada setor, o

setor A foi o que apresentou maior risco de degradação física (56,6 unidades) e o setor C o que apresentou o menor risco de degradação física (49,9 unidades). Cabe salientar que os fatores decisivos para este resultado, foram os parâmetros de potencial erosivo dos solos (PE) e de declividade média (DM), uma vez que os outros parâmetros, com exceção do parâmetro de cobertura vegetal original (CO), se apresentaram iguais para os três setores da bacia.

Apesar de ter ocorrido um maior desmatamento no setor C, este foi o que se apresentou menos suscetível à degradação física do que os outros setores, isso porque, a aplicação do diagnóstico físico-conservacionista considera outros fatores potenciais de degradação física e não somente a cobertura da terra.

3.6 OBSERVAÇÕES DE CAMPO

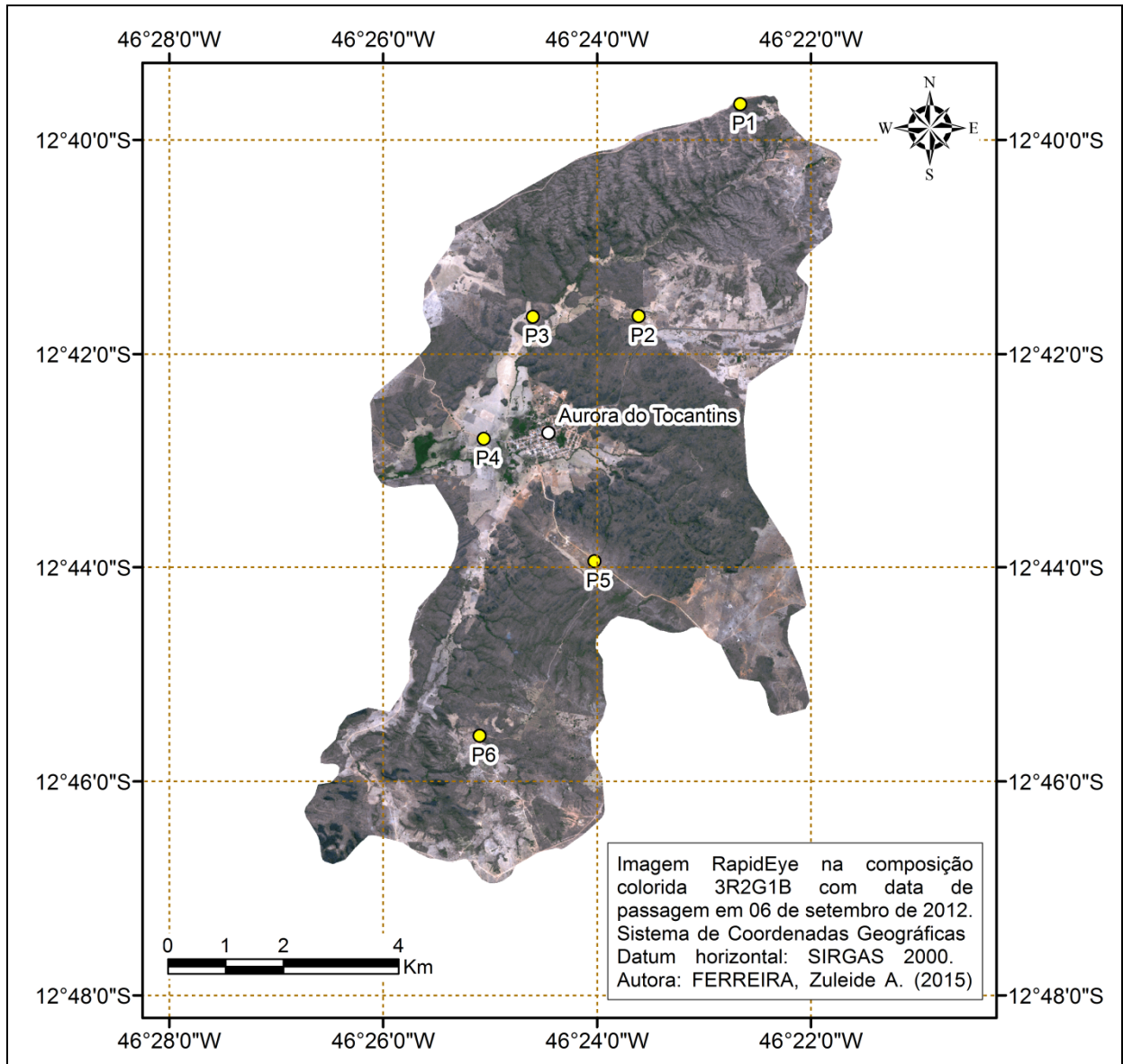
Para as observações de campo, foi adotado o método de caminhar livre de Isachenko (1998 citado por CAVALCANTI, 2014), sendo escolhidos pontos notáveis da área de estudo para verificação *in loco*. Para isto, foram utilizadas imagens *Rapideye* impressas em formato A3 e também o *software Google Earth*, o qual facilitou a escolha dos pontos que pudessem ser identificados em campo e também a extração das coordenadas facilitando a localização geográfica de cada ponto.

3.6.1 Observações no Setor A

A figura 41 demonstra a distribuição dos pontos notáveis catalogados no setor A. O primeiro ponto observado neste setor (P1) está localizado no limite superior direito da bacia do córrego Cana-brava, onde foi possível observar blocos calcários *in situ* (Figura 42a), o que caracteriza o carste em exumação, numa transição de um relevo plano para um relevo suave ondulado devido aos afloramentos calcários com a presença de siltitos e argilitos sobre um neossolo litólico, não sendo possível constatar um horizonte B bem desenvolvido. Este ponto também está situado numa zona de transição entre o cerrado sentido restrito e a agropecuária (áreas de pastagem). Ao fundo da imagem pode ser visualizada a

Serra Geral do Tocantins (Figura 42b). As feições cársticas visíveis no local são compostas por blocos calcários isolados.

Figura 41 - Mapa de distribuição dos pontos catalogados no setor A



Fonte: Elaborado pela autora

Uma drenagem intermitente, definição dada segundo os moradores locais, pôde ser observada no segundo ponto visitado no setor A (P2) (Figura 42c). Neste local, foi possível perceber o contato do carbonato com o não-carbonato (Figura 42d), onde predomina um relevo plano com um relevo ondulado ao fundo e uso da terra é caracterizado como agropecuária (áreas de pastagem).

Figura 42 - Pontos observados no setor A (P1, P2 e P3)

a
P1 - Limite superior bacia
(Lat.12°39'36.40"S; Long.46°22'39.66"W).



b
P1 - Limite superior bacia
(Lat.12°39'36.40"S; Long.46°22'39.66"W).



c
P2 - Drenagem Intermitente
(Lat.12°41'38.79"S; Long.46°23'36.57"W).



d
P2 - Contato entre o carbonato e o não-carbonato
(Lat.12°41'38.79"S; Long.46°23'36.57"W).



e
P3 - Gruta das Rãs - Vista externa
(Lat.12°41'39.16"S; Long.46°24'35.97"W).



f
P3 - Gruta das Rãs - Vista interna
(Lat.12°41'39.16"S; Long.46°24'35.97"W).

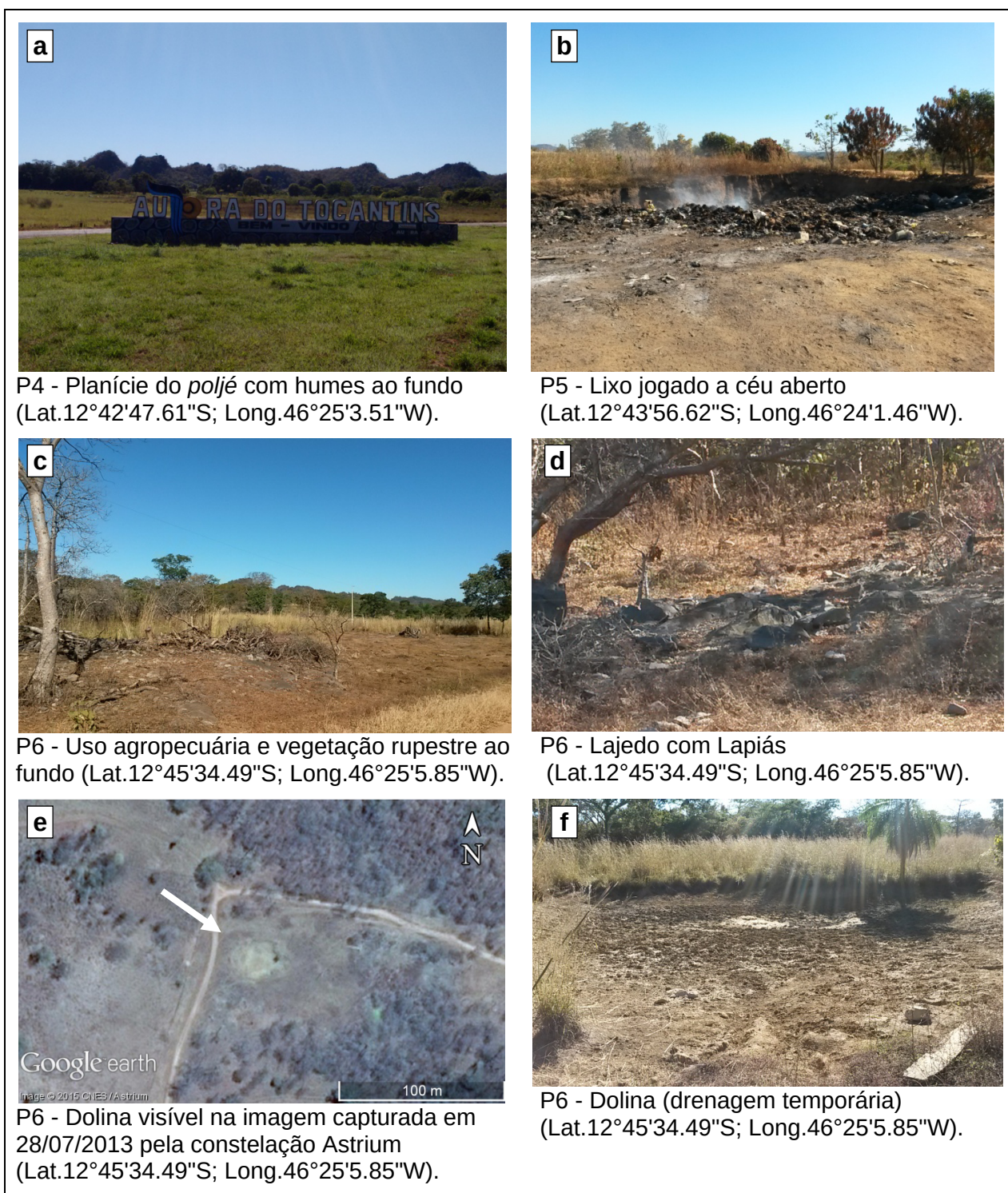
Fonte: Fotos Zuleide Ferreira (a, b, c, d) e Fernando Moraes (e, f)

O terceiro ponto (P3) corresponde à Gruta das Rãs (Figura 42e), localizada a aproximadamente dois quilômetros da cidade de Aurora do Tocantins. Segundo os moradores locais, esta gruta foi batizada com este nome devido ao quantitativo de rãs que se aglomeram no local, principalmente no período chuvoso. A Gruta das Rãs é considerada um dos principais pontos turísticos da cidade devido ao seu fácil acesso. É possível observar em seu interior a presença de alguns espeleotemas como estalactites, estalagmites, colunas e cortinas. A vista interna da Gruta das Rãs pode ser constatada na figura 42f. Cabe salientar que, dentre várias cavidades catalogadas dentro área da bacia do córrego Cana-brava, apenas uma foi visitada, uma vez que a exploração de cavernas não era o objetivo da pesquisa de campo, constituindo este apenas a descrição da paisagem de modo geral. Ressalta-se que, a caracterização de cavernas no município de Aurora do Tocantins já foi abordada por Silva (2012).

O quarto ponto do setor A (P4) corresponde ao local onde está situada a placa de boas vindas da cidade de Aurora do Tocantins. Localizado dentro de um *poljé*, podemos observar um relevo plano, com um relevo ondulado ao fundo, devido à existência de humes, caracterizando o carste descoberto (Figura 43a) com a presença de gleissolos háplicos e agropecuária como forma de uso da terra.

A cidade de Aurora do Tocantins também está localizada dentro deste *poljé* e apresentou uma notada expansão, no período de 1986 a 2011, que não se compara aos grandes centros urbanos, mas que representa um aumento de 276% no quantitativo de área durante o período analisado. Segundo Bigarella (2007), os *poljés* consistem nas formas de absorção de água de maior extensão superficial do carste, onde podem ser encontrados dolinas⁶ e sumidouros, por onde escoam águas pluviais e os eventuais córregos que drenam a área. Desse modo, a ocupação do *poljé* pela área urbana pode oferecer risco à qualidade da água superficial e subterrânea da região.

⁶ Depressões do terreno cárstico com forma circular ou oval com contornos sinuosos e não angulosos (BIGARELLA, 2007).

Figura 43 - Pontos observados no setor A (P4, P5 e P6)

Fonte: Fotos Daniel dos Santos (a), Zuleide Ferreira (b, c, d, f) e Google Earth (e)

A cidade de Aurora do Tocantins não possui aterro sanitário e nem mesmo um local próprio para destinação de seus resíduos sólidos. Dessa forma, o lixo é lançado a céu aberto e sem nenhum tratamento, o que pode favorecer a contaminação mais rápida do lençol freático devido às propriedades estruturais do

carste (SILVA, 2012). O quinto ponto catalogado no setor A (P5) corresponde a um destes locais, onde o lixo é depositado de forma descontrolada (Figura 43b). Localizado num relevo suave ondulado, sobre neossolos litólicos e agropecuária como forma de uso, este ponto está situado em ambiente cárstico, bem próximo a uma das nascentes do córrego Cana-brava, o que potencializa os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas da bacia.

O ponto catalogado mais ao sul do setor A (P6) apresenta, quanto à geologia, um calcário característico da Formação Lagoa do Jacaré e um solo pouco desenvolvido (neossolo litólico), onde é possível observar um horizonte A diretamente sobre a rocha. Pode-se visualizar um carbonato mais alto (carste descoberto) ao fundo (Figura 43c) numa zona de transição entre a agropecuária (áreas de pastagem) e a vegetação rupestre. Pode ser observado também, no local, um pequeno lajedo com lapiás⁷ (Figura 43d). A presença de algumas dolinas próximas ao local (Figuras 43e e 43f), na direção oeste, pode indicar um desenvolvimento incipiente de uma uvala (coalescência de duas ou mais dolinas).

3.6.2 Observações no Setor B

No setor B, foram observados cinco pontos notáveis conforme demonstra a figura 44. No primeiro ponto (P1), podemos observar um relevo suave ondulado com um forte ondulado ao fundo devido à presença dos morros calcários (carste descoberto) sobre a Formação Lagoa do Jacaré. Neste ponto, é possível observar a transição entre os nitossolos vermelhos e os afloramentos rochosos e também, a transição entre a agropecuária e o campo rupestre mais ao fundo da imagem (Figura 45a).

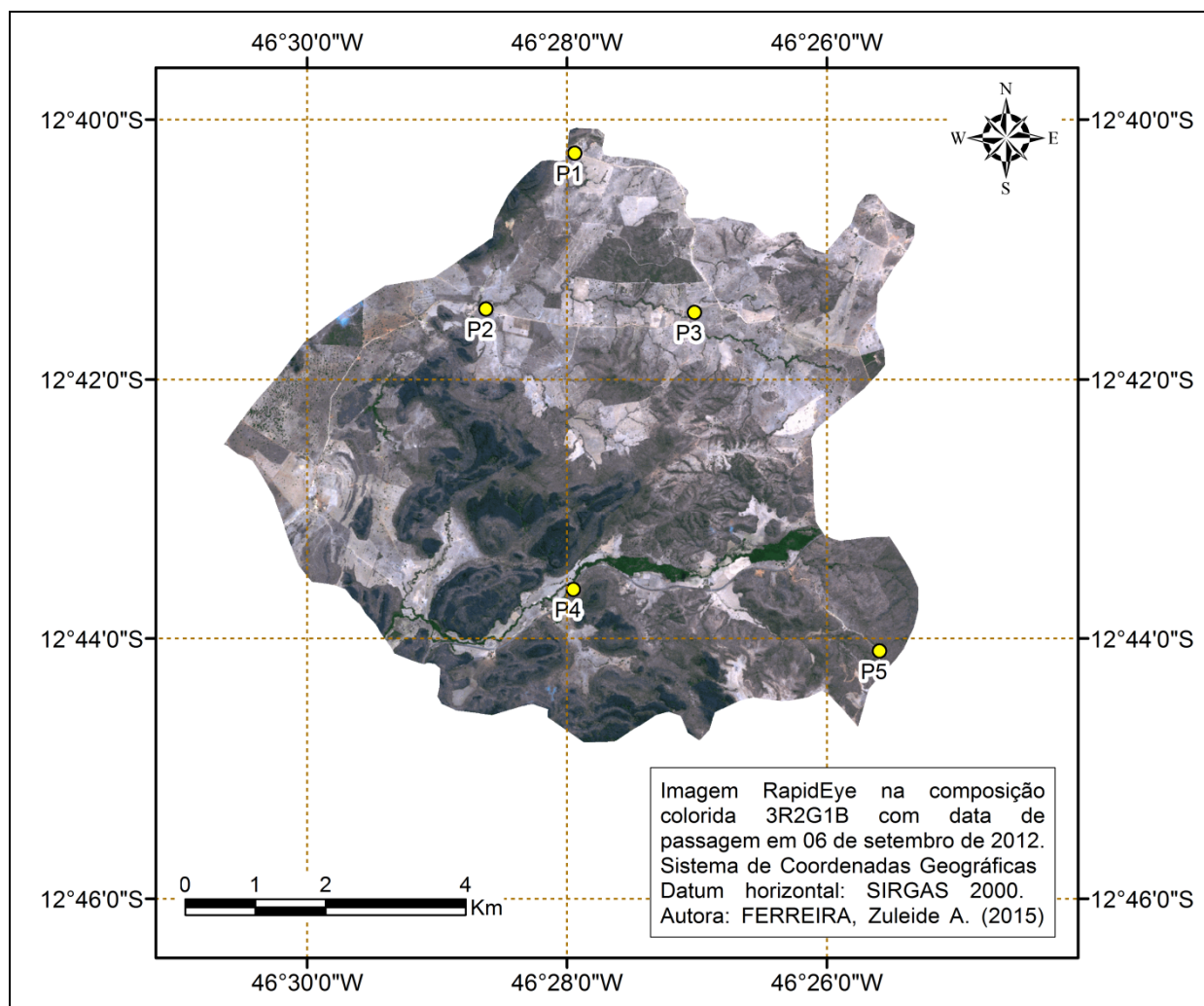
O segundo ponto observado (P2) demonstra uma paisagem bem semelhante à do ponto P1, uma vez que apresenta um relevo suave ondulado com morros calcários ao fundo, onde também é possível visualizar a transição entre a agropecuária e a vegetação rupestre, com a presença de nitossolos vermelhos e afloramentos rochosos (Figura 45b).

⁷ "Formas que correspondem às caneluras ou a sulcos superficiais de dissolução encontrados na superfície de rochas calcárias" (BIGARELA, 2007, p. 261).

No terceiro ponto (P3), observa-se uma drenagem de 3ª ordem afluyente do córrego Cana-brava (Figura 45c), onde é possível observar uma mata que acompanha seu curso d'água. Contudo em volta, há a predominância de áreas de pastagens com alguns resquícios de cerrado. O relevo do local é plano, mas é possível observar um relevo ondulado um pouco mais distante (Figura 45d). Quanto à categoria do modelado, o ponto está localizado sobre o pediplano retocado inumado (Pri) e não é possível visualizar feições cársticas nas proximidades.

No quarto ponto (P4), é possível observar um relevo montanhoso a escarpado devido à presença de morros calcários (afloramentos rochosos), com um modelado de acumulação mais abaixo, graças à denudação química do calcário (Figura 45e). Percebe-se, à direita, uma vegetação mais exuberante característica de uma mata ciliar que acompanha o córrego Cana-brava, sendo visível, mais à frente, uma vegetação rupestre e também algumas porções de cerrado.

Localizado sobre um relevo ondulado e apesar de estar sobre o modelado cárstico, o quinto ponto (P5) não apresenta feições cársticas visíveis, com exceção de alguns pequenos lapiás. Os solos predominantes no local são rasos e pedregosos e correspondem ao neossolos litólicos. A vegetação é composta pelo cerrado sentido restrito conforme é demonstrada na figura 45f.

Figura 44 - Mapa de distribuição dos pontos catalogados no setor B

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 45 - Pontos observados no setor B

P1- Morros calcários no limite superior do setor B (Lat.12°40'15.57"S; Long.46°27'56.28"W).



P2 - Morros calcários (carste descoberto) (Lat.12°41'27.52"S; Long.46°28'37.39"W).



P3 - Afluente do córrego Cana-brava (Lat.12°41'29.05"S; Long.46°27'1.05"W).



P3 - Agropecuária com cerrado remanescente (Lat.12°41'29.05"S; Long.46°27'1.05"W).



P4 - Relevo montanhoso a escarpado (Lat.12°43'37.31"S; Long.46°27'57.02"W).



P5 - Cerrado sentido restrito (Lat.12°44'5.74"S; Long.46°25'35.64"W).

Fonte: Fotos Daniel dos Santos (a), Zuleide Ferreira (b, c, d, e, f)

3.6.3 Observações no Setor C

Foram observados também cinco pontos no setor C (Figura 46). O primeiro ponto (P1) corresponde a uma dolina que pode ser visualizada nas figuras 47a e 47b. Localizado sobre um relevo suave ondulado, este local apresenta feições cársticas apesar de estar classificado como pediplano retocado inumado. Cabe salientar que esta dolina está situada a pouco mais de um quilômetro da linha delimitada pelo IBGE (2009a), o que sugere uma zona de transição entre o pediplano (Pri) e o carste descoberto (Kd). Predominam na região a agropecuária (áreas de pastagens) e os cambissolos.

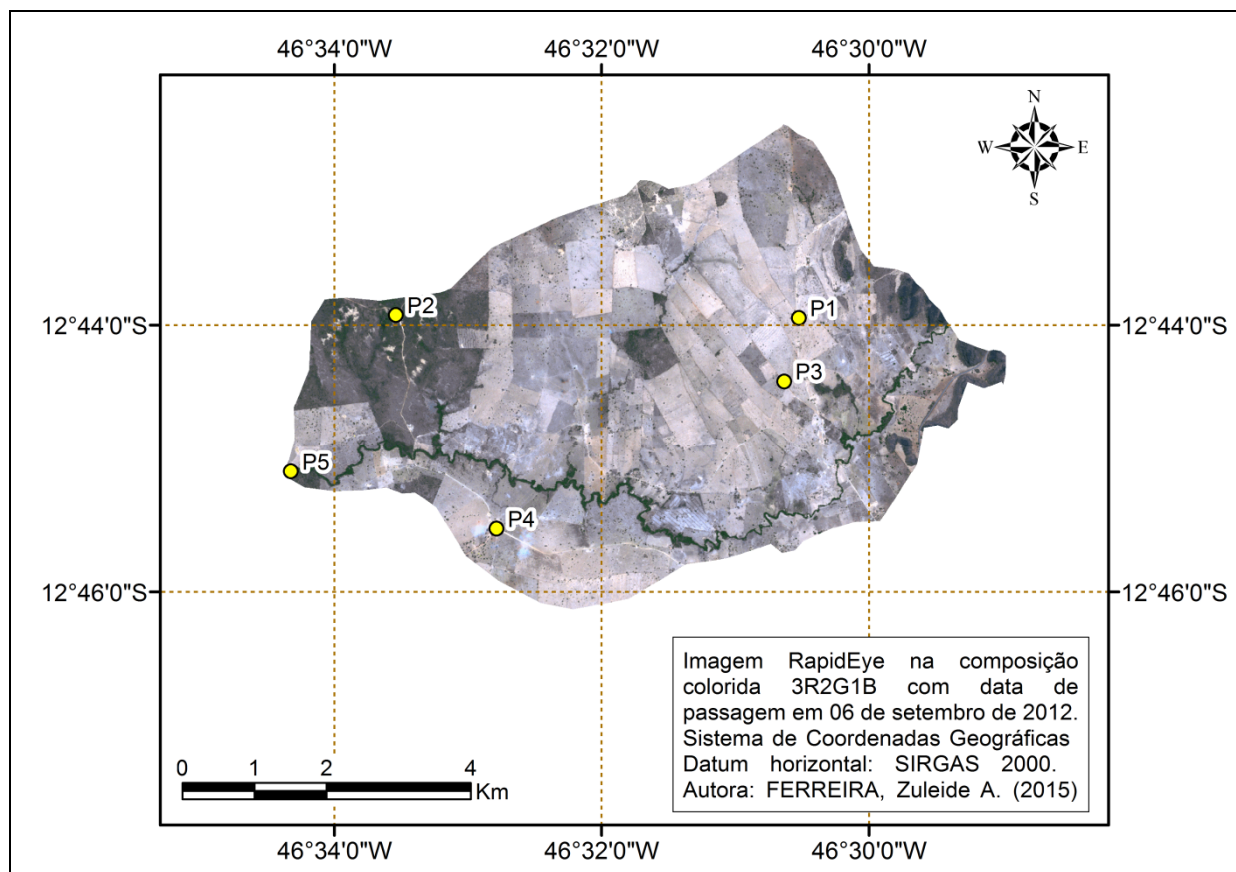
O segundo ponto (P2) apresenta um relevo suave ondulado, onde não é possível observar a presença de um horizonte A bem desenvolvido em virtude da presença de afloramentos rochosos que favorecem o processo morfogenético já que contribuem para a retirada da cobertura pedológica pela ação da água (escoamento superficial), prejudicando, deste modo, o processo pedogenético. Em contra partida, na descrição da SEPLAN-TO (2012b), os solos presentes no local seriam os latossolos vermelho-amarelos, que consistem em solos bem desenvolvidos e profundos, o que não corresponde à realidade. Acredita-se que, esta discrepância nos resultados encontrados tenha ocorrido devido à observação pontual da pesquisa e à abrangência da escala utilizada pela SEPLAN-TO (2012b) (escala 1:1.000.000), o que sugere uma generalização dos dados. No local, apresenta-se uma vegetação típica do cerrado conforme demonstra a figura 47c.

Apesar da distância de aproximadamente cinco quilômetros que separa o terceiro e o quarto ponto observados *in loco* (P3 e P4), é possível perceber que ambos demonstram uma paisagem bem semelhante (Figura 47d e 47e), uma vez que apresentam um relevo que varia de plano a suave ondulado, característico de um pediplano retocado inumado (Pri), onde não se pode visualizar presença de afloramentos rochosos e nem de feições cársticas nas proximidades. Os solos apresentam os aspectos dos latossolos vermelho-amarelos num local onde a vegetação nativa foi substituída por áreas de pastagens.

O último ponto a ser observado no setor C (P5) corresponde ao exutório da bacia do córrego Cana-brava, onde este deságua no rio Palma. No local, observa-se um relevo suave ondulado e uma mata ciliar bem preservada com áreas de pastagens no seu entorno, conforme demonstra a figura 47f. O ponto de encontro do

córrego Cana-brava e rio Palma pode ser visualizado na figura 48a. Cerca de cinquenta metros acima da confluência existe uma tufa calcária⁸ (Figura 48b).

Figura 46 - Mapa de distribuição dos pontos catalogados no setor C



Fonte: Elaborado pela autora

⁸ Formas de cachoeiras, barragens ou depósitos de micritos inconsolidados que dão origem a quedas d'água e piscinas naturais (OLIVEIRA, 2009).

Figura 47 - Pontos observados no setor C

P1- Dolina visível na imagem capturada em 27/07/2013 pela constelação Astrum (Lat.12°43'56.80"S; Long.46°30'31.40"W).



P1 - Dolina (Setor C) (Lat.12°43'56.80"S; Long.46°30'31.40"W).



P2 - Vegetação típica do cerrado (Lat.12°43'55.48"S; Long.46°33'32.41"W).



P3 - Agropecuária (áreas de pastagens) (Lat.12°44'25.28"S; Long.46°30'37.97"W).



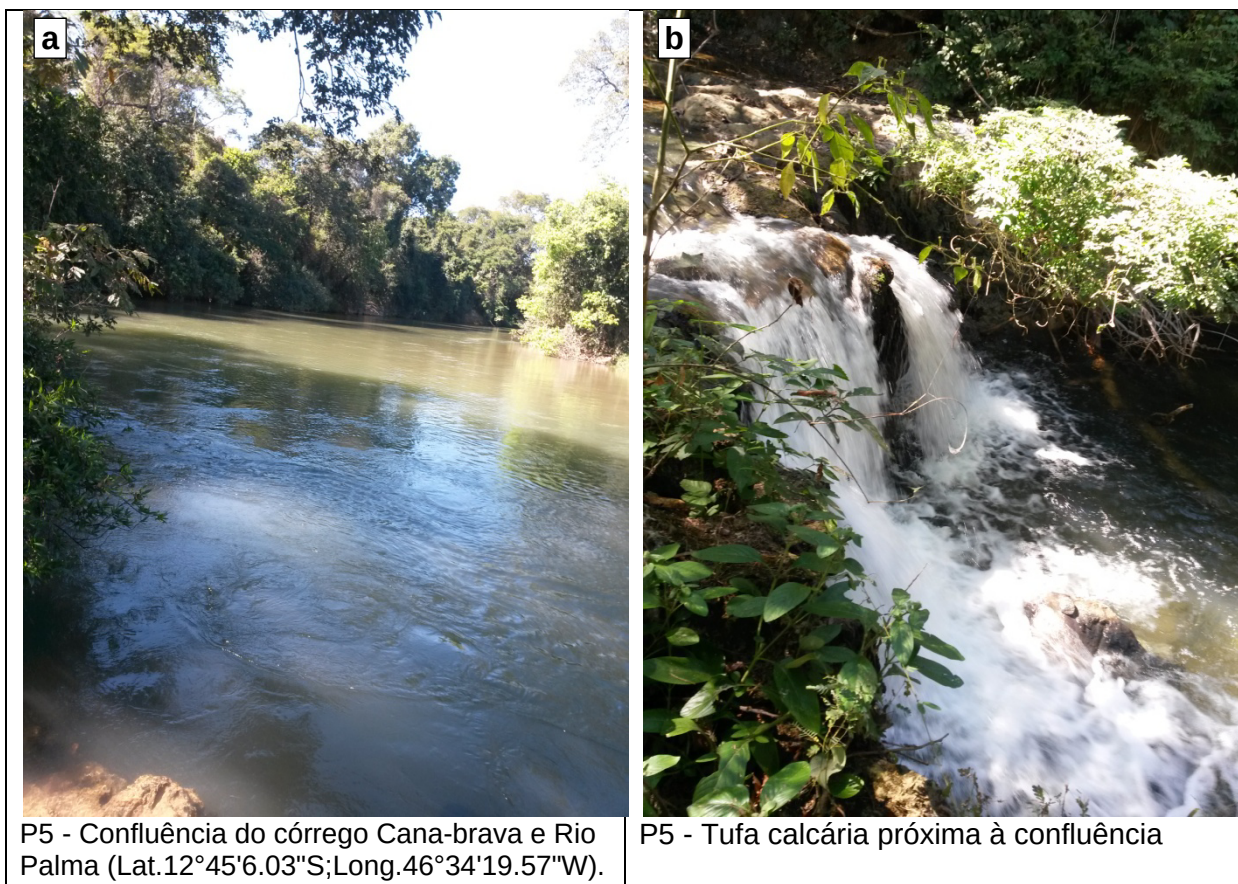
P4 - Agropecuária (áreas de pastagens) (Lat.12°45'31.67"S; Long.46°32'47.19"W).



P5 - Mata ciliar e área de pastagens no entorno (Lat.12°45'6.03"S; Long.46°34'19.57"W).

Fonte: Fotos *Google Earth* (a) e Zuleide Ferreira (b, c, d, e, f)

Figura 48 - Confluência e tufa calcária no setor C



Fonte: Fotos Zuleide Ferreira

3.7 MAPA EXPLORATÓRIO DE FENÔMENOS CÁRSTICOS

O mapa exploratório de fenômenos cársticos (Anexo A) foi elaborado a partir do mosaico de duas imagens *RapidEye* ortorretificadas com resolução espacial de 5 metros, na composição colorida 3R2G1B, impressas em escala 1:40.000, captadas em 06 de setembro de 2012. Foram utilizados, como referência para elaboração, os mapas de fenômenos cársticos apresentados por Travassos (2010) e por Sallun Filho e Karmann (2007).

Foi utilizada a base de dados geoespacializados de cavidades naturais subterrâneas do CECAV (situação em 31 de agosto de 2014) para a identificação de cavernas (formas endocársticas) na área da bacia do córrego Cana-brava, as quais estão representadas pela letra grega ômega (Ω) na cor preta.

As formas exocársticas (dolinas, humes e *poljé*) identificadas na imagem apresentam contorno vermelho. As dolinas são representadas por elipses com linhas contínuas sem preenchimento, os humes também são representados por linhas contínuas, porém apresentam preenchimento em amarelo. O *poljé*, por sua vez, é representado por uma linha pontilhada com preenchimento na cor cinza.

Algumas feições cársticas que não puderam ser identificadas na imagem foram definidas apenas como rochas carbonáticas e são representadas por hachura na tonalidade cinza claro. Foram assinaladas também, as litologias presentes na área de estudo: Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (alaranjado), Formação Lagoa do Jacaré (cinza médio), Formação Serra de Santa Helena (amarelo claro) e Subgrupo Paraopeba (marrom claro). Cabe salientar que, as cores para litologia foram atribuídas conforme Brasil (2013).

Foram representados também os cursos d'água da bacia, onde o córrego Cana-brava apresenta linha contínua mais espessa na cor azul escuro e os demais cursos são representados por linhas menos espessas em azul claro. A sede do município de Aurora do Tocantins, localizada sobre o *poljé*, está representada por um círculo preto, com preenchimento em amarelo claro.

3.8 COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS

A área da bacia do córrego Cana-brava já foi objeto de estudo por meio da aplicação de outra metodologia: o KDI (*Karst Disturbance Index*). De acordo com Van Beynen e Townsend (2005 citado por SILVA, 2012), este índice utiliza uma proposta interdisciplinar e tem como objetivo medir os fatores de perturbação no carste, direcionando o estudo a todo o sistema cárstico, sendo dividido em cinco categorias: geomorfologia, hidrologia, biota, atmosfera e fatores culturais, com atributos avaliados em micro, meso e macro escalas.

Silva (2012) aplicou a metodologia do KDI associada às entrevistas com a comunidade local na área da bacia do córrego Cana-brava e, comparando os métodos utilizados, pode-se afirmar que tanto o KDI quanto o DFC diagnosticaram indícios de degradação ambiental oriundos de uma má gestão dos recursos naturais e da ausência de ações voltadas à proteção dos ambientes cársticos.

Apesar do enfoque diferenciado, puderam ser constatadas, através das metodologias do KDI e do DFC, diversas atividades antrópicas que acarretam impactos sobre os ambientes cársticos. Dentre outras atividades, as duas metodologias constataram o desmatamento excessivo e a deposição de lixo em locais inadequados, o que indica um mau gerenciamento dos recursos naturais na área de estudo. Outro ponto em comum consistiu na dificuldade de acesso às informações ambientais pertinentes à área de estudo.

Ambas as metodologias exigiram uma abordagem sistêmica, através da exigência de estudos interdisciplinares, além da necessidade de adaptações às peculiaridades da área de estudo. Apesar das dificuldades encontradas na aplicação das metodologias do KDI e do DFC, ao final, os resultados obtidos se mostraram satisfatórios ao atingir os objetivos propostos.

Portanto, o KDI e o DFC apresentaram, de forma sistêmica, contribuições para o diagnóstico ambiental das áreas cársticas ao destacar vários indícios de degradação ambiental da área de estudo. Desse modo, torna-se evidente a necessidade de uma melhor gestão e planejamento das atividades com potencial de degradação das áreas cársticas da bacia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam a eficiência no uso da metodologia do diagnóstico físico-conservacionista (DFC) para o ambiente cárstico. Apesar das adaptações necessárias devido às peculiaridades da área de estudo, esta metodologia atendeu ao objetivo proposto que consistiu em mensurar o potencial de degradação física da bacia do córrego Cana-brava.

A metodologia do DFC exige a aplicação de conhecimentos interdisciplinares e consequentemente, a integração de dados de origens diversas, o que seria praticamente inviável sem a utilização dos sistemas de informações geográficas (SIG's), em virtude da grande quantidade de dados a serem analisados. Contudo, o estudo apresentado por Beltrame (1994) utiliza métodos que puderam ser aprimorados nesta pesquisa, graças à modernização dos SIG's, como por exemplo, o cálculo do parâmetro da declividade média, executado através do modelo digital de elevação, e a determinação do parâmetro do potencial erosivo dos solos, onde foi utilizada uma análise multicritério.

O uso do geoprocessamento se mostrou eficiente para a determinação do parâmetro de cobertura original e cobertura atual, uma vez que proporcionou uma análise multitemporal da área de estudo através do método de classificação de imagens. Todavia, os resultados encontrados no método de determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) não se mostraram compatíveis com os resultados encontrados pelo método de classificação de imagens. Acredita-se que, essa discrepância tenha ocorrido devido à diferença na data de aquisição das imagens (meses diferentes), uma vez que os valores do NDVI estão relacionados diretamente com a intensidade pluviométrica local. Apesar da discrepância encontrada na comparação dos resultados, estima-se que o NDVI constitui ferramenta importante para análise da cobertura vegetal, uma vez que favorece a identificação de áreas onde houve supressão da vegetação. Outra dificuldade encontrada foi a delimitação automática da bacia hidrográfica por meio de geoprocessamento, que não se mostrou satisfatória. Sendo assim, foi necessária a integração de outros dados, além do modelo digital de elevação (cartas topográficas, hidrografia, imagens de satélite), para a vetorização do limite da bacia do córrego Cana-brava.

A inexistência de dados mais antigos referentes à cobertura vegetal da bacia prejudicou parte do DFC, uma vez que foi necessário adotar o ano de 1986 como referência para a vegetação original, onde já era possível constatar algumas áreas de desmatamento (áreas de pastagens). A ausência de dados em escalas com maiores detalhamentos também dificultou esta pesquisa, uma vez que a área de estudo possui uma pequena área de abrangência, onde foi possível constatar uma generalização de alguns dados geográficos (solos, geologia e geomorfologia), o que pode ter influenciado nos resultados obtidos. Além disso, os dados cartográficos disponíveis referentes à hidrografia da área de estudo também eram insatisfatórios em função da escala apresentada (1:100.000). Contudo, foi possível melhorar o detalhamento da hidrografia da área de estudo e, para isso, foi necessária a vetorização manual dos cursos d'água que foi executada mediante uso de imagens de satélite de alta resolução e também do modelo digital de elevação.

Os resultados do diagnóstico físico-conservacionista possibilitaram a mensuração do potencial de degradação física da bacia do córrego Cana-brava, onde foi verificada pouca diferença no valor do somatório dos índices de degradação para cada setor. Os parâmetros de cobertura vegetal atual (CA), erosividade da chuva (E), densidade de drenagem (DD) e balanço hídrico (BH) se apresentaram iguais para os três setores. Deste modo, os valores encontrados nos parâmetros de potencial erosivo dos solos (PE), de declividade média (DM) e de cobertura vegetal original (CO) se tornaram decisivos. Apesar do parâmetro CO ter apresentado valor idêntico para os setores A e B e um maior valor no setor C, o que indica uma maior taxa de desmatamento, decorrente da substituição da vegetação nativa por áreas de pastagens e culturas temporárias, este último setor apresentou o menor risco de degradação física.

O setor C constitui o baixo curso da bacia e com um relevo plano, o índice de declividade média (DM) também foi menor para este setor. Em contrapartida, os setores A e B apresentaram relevo ondulado e conseqüentemente um maior valor para este índice.

O parâmetro de potencial erosivo do solo (PE), por sua vez, apresentou valores diferentes para cada setor da bacia, isso porque foram utilizados elementos bem peculiares na sua determinação, como a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a declividade média e o uso e ocupação da terra. Acredita-se que os setores A e B apresentaram maiores valores para este parâmetro devido ao relevo

ondulado, ao tipo de solo e à presença do carste descoberto e em exumação nestes setores. Por outro lado, o setor C apresentou relevo plano e o pediplano retocado inumado, sem a presença de feições cársticas. Ainda que tenha ocorrido um maior desmatamento no setor C, entre os anos 1986 e 2011, este setor foi o que se apresentou menos suscetível à degradação física. Do mesmo modo, o setor A apresentou a maior suscetibilidade à degradação, o que reafirma a fragilidade de ambientes cársticos.

A área urbana de Aurora do Tocantins demonstrou uma notada expansão que não se compara aos grandes centros urbanos, mas que representa um aumento de 276% no período de 1986 a 2011. A sede do município está localizada dentro de um *poljé*, que constitui na forma de absorção de água de maior extensão superficial do carste, o que pode oferecer sérios riscos à qualidade da água superficial e subterrânea da região. Além disso, a cidade de Aurora do Tocantins não possui aterro sanitário e nem mesmo um local próprio para destinação de seus resíduos sólidos. Na pesquisa de campo, pôde-se constatar o lançamento do lixo a céu aberto próximo a uma das nascentes do córrego Cana-brava, o que potencializa os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas da região, em virtude das características de drenagem do carste.

Diante da constatação da degradação física da bacia do córrego Cana-brava, sugere-se aos órgãos competentes a adoção de medidas para conter e/ou reverter a situação de degradação, dada a importância da preservação de ambientes cársticos. A conservação destes ambientes está diretamente relacionada à qualidade da água superficial e subterrânea devido às suas características físicas de drenagem predominantemente vertical. Além disso, cabe aqui salientar, a importância da preservação, dadas as contribuições arqueológicas, paleontológicas e antropológicas, além do potencial turístico destes ambientes.

Ressalta-se que, o diagnóstico físico-conservacionista consiste num estudo parcial do Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica (DIBH), o qual é composto por um conjunto de outros diagnósticos (socioeconômico, solo, água, fauna, contaminação ambiental e vegetação). Cabe salientar a importância de estudos relacionados para a preservação dos recursos naturais da região, uma vez que constituem excelente alternativa para a geração de renda, principalmente através do ecoturismo. Sendo assim, sugerem-se novos estudos diagnósticos da área com o objetivo de compor o diagnóstico integral da bacia do córrego Cana-brava.

Com o intuito de viabilizar estudos em pequenas áreas, sugere-se, ainda, uma atualização da base cartográfica no Estado do Tocantins, mediante a substituição da base cartográfica atual por outra com um nível maior de detalhamento, o que evitaria a generalização de dados ocorrida nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eliane de Paula Clemente; SANTOS, Humberto Gonçalves dos; ZARONI, Maria José. **Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais: Latossolos Vermelho-Amarelos**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html>. Acesso em: 29 abr. 2015.

ALMEIDA, Eliane de Paula Clemente; ZARONI, Maria José; SANTOS, Humberto Gonçalves dos. **Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais: Neossolos Quartzarênicos**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqtarta66.html>. Acesso em: 01 maio 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. **HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas**. 2015. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 maio 2015.

BELINTANI, Halisson; MEIRELLES, Margareth Simões Penello. **Integração temática de dados espaciais para avaliação do processo de erosão em bacias hidrográficas**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo.

BELTRAME, Angela da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas; modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 111p.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BIGARELLA, João Jose. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2.ed Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BONNA, Joyce Luiza. **Mapeamento pedológico e de suscetibilidade erosiva no alto córrego Prata (Ouro Preto-MG)**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de pós-graduação em Geografia - Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD 23 Brasília; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento dos recursos naturais, v. 29. Rio de Janeiro, 1982, 660p.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

_____. **Decreto nº 6640, de 07 de novembro de 2008**. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Lex. Brasília, DF, 10 nov. 2008.

_____. Ministério de Minas e Energia. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica Folha SD-23-V-A Arraias**. Escala 1:250.000. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Geocatálogo: Imagens RapidEye**. Disponível em: <<http://geocatálogo.ibama.gov.br/sobre.jhtml>>. Acesso em: 30 out. 2014.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. Introdução. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José Dos Campos: INPE-DPI, 2001. Cap. 01, p. 1. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

CARVALHO, Silvia Méri. **O Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC como Subsídio à Gestão Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa – PR**. 2004. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2004.

CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de; BERBET-BORN, Mylene; MARTINS, Éder de Souza; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. Geomorfologia de ambientes cársticos. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 185-218.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Cartografia de Paisagens: Fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 96 p.

CECAV. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Cavidades naturais subterrâneas**. 2014a. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/cavidades-naturais-subterraneas.html>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

CECAV. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas do CECV, situação**

em 31/08/2014. 2014b. Disponível em:
<<http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>>. Acesso em: 18 set. 2014.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2ª Ed. São Paulo, Edgard Blücher: 1980. 9ª reimpressão, 2006.

CHUEH, Anderson Mendes. **Análise do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno - São José dos Pinhais/PR, por meio do diagnóstico físico-conservacionista - DFC**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Geografia, Área de Concentração em Análise Ambiental - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Publicação DOU, de 17 de fevereiro de 1986, p. 2548-2549.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha SD.23-Brasília**. Divisão de Geoprocessamento. Banco de Dados GEOBANK. Disponível em:
<<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2014.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira. Degradação ambiental. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. Cap. 07, p. 337-379.

DINIZ, Simone Ferreira; MOREIRA, César Augusto; CORRADINI, Fabrício Aníbal. **Susceptibilidade erosiva do baixo curso do rio Acaraú-CE**. Geociências (São Paulo), São Paulo, v. 27, n. 3, p. 355-367, 2008.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p. (ISBN 85-85864-19-2).

_____. Monitoramento por Satélite. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 1 set. 2014

FERRETTI, Eliane Regina. **A bacia hidrográfica** - Questões metodológicas. Disponível em: <http://www.utp.br/geo/artigos/a_bacia_hidrografica.htm>. Acesso em: 10 mai. 2013.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

_____. (Org.). **Geomorfologia; conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318p.

FLORIANI, Nicolas. **Avaliação da fragilidade geossistêmica de uma microbacia sobre geologia cárstica**: Potencial e limitações. 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Área de Concentração Ciências do Solo do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

FORD, Derek; WILLIAMS, Paul. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. [Rev. ed.] *United Kingdom*: Wiley, 2007.

GAMS, Ivan. *Origin of the term "karst", and the transformation of the Classical Karst (kras)*. **Environmental Geology**, 21: 110-114, 1993.

GONÇALVES, Geula Graciela Gomes; DANIEL, Omar; COMUNELLO, Éder; VITORINO, Antonio Carlos Tadeu; ARAI, Fabiane Kazue. **Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas**. Floresta, Curitiba, PR, v. 41, p. 797-808, 2011.

GONZAGA, Elba Pereira; SANTOS, Valter Vitor dos; NICÁCIO, Rosilene Mendonça. **Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no sertão alagoano**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Curitiba, PR: SBSR, 2011. p. 1736 - 1743.

GUERRA, Antônio Teixeira; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652 p.

GUIMARÃES, Rose Lane. **Mapeamento geomorfológico do carste da região de Monjolos, Minas Gerais**. 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

HARDT, Rubens. **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário - Cocalinho – MT**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Organização do Espaço, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2004.

_____. **Diretrizes para o manejo de áreas cársticas**. In: Anais do IV Seminário Latino americano de Geografia Física. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2006.

_____. **Sistema cárstico e impactos antrópicos: Considerações sobre o manejo**. In: 1º Simpósio de Pós-graduação em Geografia do Estado de São Paulo. ISBN: 978-85-88454-15-6. Rio Claro: UNESP, 2008. p. 1295- 1309.

_____. **Da carstificação em arenitos: Aproximação com o suporte de geotecnologias**. *À propos de la karsification dans les grès: Traitement par les technologies SIG*. 2011. 224 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências (DGC). **Noções Básicas de Cartografia**. Departamento de Cartografia – DECAR. Rio de Janeiro, 1998. Apostila. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/cartografia/nocoas_basicas_cartografia.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2013.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 316 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 4).

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Recorte Amazônia Legal**. Base de dados com nível de detalhamento compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/banco_dados_georeferenciado_reursos_naturais/>. Acesso em: 02 nov. 2014.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia.** – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009b. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

_____. **Avaliação Planimétrica de Imagens ALOS/AVNIR-2. Estudo de Caso: Uberlândia-MG.** Diretoria de Geociências: Coordenação de Cartografia. Relatório 2009/2010. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/cartografia/relatorioavnirfinal.pdf>> . Acesso em: 31 ago. 2014.

_____. **Aurora do Tocantins - TO.** 2014a. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/tocantins/auroradotocantins.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

_____. **IBGE disponibiliza imagens de satélite do Piauí.** 2014b. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&idnoticia=2668>>. Acesso em: 01 set. 2014.

_____. **Cidades: Aurora do Tocantins - TO.** 2014c. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=170270&idtema=16&se arch=tocantins|aurora-do-tocantins|sinthese-das-informacoes>>. Acesso em: 04 fev. 2015.

_____. **Cidades: Lavandeira - TO.** 2014d. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=171215&search=toc antins|lavandeira|infograficos:-historico>>. Acesso em: 04 fev. 2015.

INMET (Brasil). **Agrometeorologia:** Balanço Hídrico Climático. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em: 20 maio 2015.

INPE-DGI. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens. **Os satélites LANDSAT 5 e 7.** Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 30 ago. 2014.

INPE-DPI. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Processamento de Imagens. **Tutorial de Geoprocessamento:** Introdução ao Sensoriamento Remoto. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html>. Acesso em: 01 set. 2014.

_____. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Processamento de Imagens. **Tutorial de Geoprocessamento: Classificação de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

INPE-DSA. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. **Índice de Vegetação**. Disponível em: <<http://webaula.cptec.inpe.br/ndvi/faq.jsp>>. Acesso em: 15 maio 2013.

JANSEN, Débora Campos. **Análise ambiental da área de proteção ambiental do Morro da Pedreira e do Parque Nacional da Serra do Cipó para a proteção do patrimônio espeleológico**. 2013. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de pós-graduação em Geografia, Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

JAXA. Japan Aerospace Exploration Agency (Japan). **Satellites and Spacecraft: Advanced Land Observing Satellite "DAICHI" (ALOS)**. Disponível em: <<http://global.jaxa.jp/projects/sat/alos/>>. Acesso em: 01 set. 2014.

KARMANN, Ivo; SÁNCHEZ, Luís Enrique. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, v. 13, p. 105-167, 1979.

KARMANN, Ivo. Água: ciclo e ação geológica. In: TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, Maria Cristina Motta de; TAIOLI, Fabio. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. Cap. 7. p. 186-209.

KLIMCHOUK, Alexander; FORD, Derek. *Types of karst and evolution of hydrogeologic settings*. In: **Speleogenesis: Evolution of karst aquifers**. Huntsville: National Speleological Society, 2000, p. 45-53.

KLIMCHOUK, Alexander. *Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution*. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2004.

KOHLER, Heinz Charles. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa - MG**. 1989. 113 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

_____. Geomorfologia Cárstica. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 309-334.

LACERDA FILHO, Joffre Valmório de; REZENDE, Abelson; SILVA, Aurelene da. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal – Relatório do Mapa Geológico do Estado de Goiás - Escala 1:500.000.** Goiânia: CPRM/METAGO/UnB, 1999.

LEITE, Emerson Figueiredo. **Utilização do geoprocessamento na análise ambiental por diagnóstico físico-conservacionista:** estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego Vilas Boas, Miranda-MS. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2007.

LOBO, Heros Augusto Santos; PILONETO, Adriana; BENITES, Gilmara; RANGEL, Márcio Cláudio Rodrigues; SILVA, Maria Cristiane Fernandes da; MELO, Murilo Eloz de; FERREIRA, Rosângela Palhano. **Reflexões e propostas para as políticas públicas de espeleoturismo no Brasil.** 2006. Disponível em: <[http://www.periodicodeturismo.com.br/site/artigo/pdf/reflexões e propostas para as políticas públicas de espeleoturismo no brasil.pdf](http://www.periodicodeturismo.com.br/site/artigo/pdf/reflexões_e_propostas_para_as_políticas_públicas_de_espeleoturismo_no_brasil.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2014.

MORAIS, Fernando de. **Contexto geológico das cavernas em arenito do Estado do Tocantins.** Congresso Brasileiro de Espeleologia, 30. Anais... Montes Claros, MG: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2009. p. 139-144.

_____. Panorama da Espeleologia no Estado do Tocantins. In: MORAIS, Fernando de. **Contribuições à geografia física do Estado do Tocantins.** Goiânia: Kelps, 2011. Cap. IV, p. 87-111.

_____. Caracterização Geomorfológica da Região de Aurora do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p.163-170 (Abr-Jun) 2013.

MOREIRA, Mauricio Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3 ed. atualizada e ampliada - 1ª reimpressão - Viçosa:UFV, 2007. 320 p.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritérios.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil: 2007 p. 2899-2906.

MÜLLER, Lisiane; AVILLA, Leonardo dos Santos; GASPARINI, Germán Mariano. **Considerações taxonômicas e paleoclimáticas sobre os *tayassuídeos* (*mammalia: cetartiodactyla*) fósseis registrados nas cavernas de Aurora do Tocantins, norte do Brasil.** In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, 23,

2013. Boletim de Resumos. Gramado, RS: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2013. p. 251.

MUÑOZ, Viviana Aguilar. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil.** 2005. 61 f. Monografia (Especialização) - XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2005.

NASA. Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço. ***The Landsat Program.*** Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 05 set. 2014.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do; CUNHA, Sandra Batista da; SOUZA, Marco José de; CRUZ, Maria Lucia Brito da. **Diagnóstico geoambiental da bacia hidrográfica semi-árida do Rio Acaraú:** subsídios aos estudos sobre desertificação. Boletim Goiano de Geografia, v.28, n.1, p. 41-62. Goiânia-Goiás-Brasil, 2008.

NATURATINS. Instituto Natureza do Tocantins. **A Instituição.** 2015. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/institucional/a-instituicao/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

NEVES, Eliete Henrique das. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio, Pelotas-RS, através do diagnóstico físico-conservacionista (DFC).** 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NOVO, Evlyn Marcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p. Blucher

OLIVEIRA, Emiliano Castro de. **Tufas calcárias da Serra da Bodoquena, MS.** 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Pedologia Aplicada.** 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p. :il.

PAULINO, Rafael Bendo. **Modelo AHP aplicado à ocorrência de deslizamentos na região nordeste de Santa Catarina.** 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso

de Pós- Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PAZ, Francisco Nilson Viana da. **Diagnóstico Físico-Conservacionista na Bacia do Ribeirão Lajes, Aragominas-TO**. 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2013.

PÊGO, Frederico Bonissoni; GASPARINI, Germán Mariano; AVILLA, Leonardo dos Santos. **Primeiro registro de *Morenelaphus (Cetartiodactyla: Cervidae)* em depósitos pleistocênicos de cavernas do norte do Brasil**. In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, 23, 2013. Boletim de Resumos. Gramado, RS: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2013. p. 262.

PEREIRA, Carolina; RODRIGUES, Shirley; RODRIGUEZ, Sergio; BERNARDES, Camila; SOIBELZON, Leopoldo H.; AVILLA, Leonardo dos Santos. ***Panthera Onca* (L., 1758) (Carnivora: Felidae) do Pleistoceno terminal de Tocantins**. In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, 23, 2013. Boletim de Resumos. Gramado, RS: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2013. p. 263 - 264.

PILÓ, Luis Beethoven. Ambientes Cársticos de Minas Gerais: Valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. **O Carste**, v. 11, n. 3, p. 50-58, 1999.

_____. **Geomorfologia Cárstica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, v.1, n.1, p. 88-102, 2000.

PILÓ, Luís Beethoven; AULER, Augusto. Introdução à espeleologia. In: ICMBio/CECAV. (Org.). **III curso de espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília/DF: Adaequatio estúdio de criação, 2011. Cap. 1. p. 7-23.

PINTO, Roberto Carlos; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony Cortese. **Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da avaliação multicritério pelo método da média ponderada ordenada** - DOI 10.5752/P.2318-2962.2015v25n43p116. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 25, n. 43, p. 116-143, fev. 2015. ISSN 2318-2962.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

RICCIARDI, Ciro Terêncio Russomano; OLIVEIRA JÚNIOR, Geraldo Moura de. **Estudo de Impacto Ambiental: Volume II – Texto do Eia (2/4) - Diagnóstico do Meio Físico**. Arraias - TO: Itafós Mineração Ltda., 2010. Disponível em: <central3.to.gov.br/arquivo/114149/>. Acesso em: 08 jun. 2015.

ROSA, Roberto. Tratamento da informação geográfica e as novas tecnologias. In: SILVA, José Borzacchiello da; LIMA, Luiz Cruz; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia (Org.). **Panorama da geografia brasileira II**. São Paulo: Annablume, 2006. p. 169-188.

SALLUN FILHO, William; KARMANN, Ivo. *Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil*. **Journal of maps**, v. 3, n. 1, p. 282-295, 2007.

_____. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. In: HASUI, Yociteru; CARNEIRO, Celso Dal Ré; BARTORELLI, Andrea; ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. (Org.). **Geologia do Brasil**. 1 ed. São Paulo: Beca, 2012, v. , p. 629-641.

SANTOS, Amanda Alves dos. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no Parque Estadual da serra do Rola Moça**. 2010. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; ZARONI, Maria José. **Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais: Gleissolos**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_10_2212200611540.html>. Acesso em: 30 abr. 2015.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; ZARONI, Maria José; ALMEIDA, Eliane de Paula Clemente. **Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais: Cambissolos Háplicos**. 2015a. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html>. Acesso em: 30 abr. 2015.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; ZARONI, Maria José; ALMEIDA, Eliane de Paula Clemente. **Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais: Neossolos Litólicos**. 2015b. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html>. Acesso em: 01 maio 2015.

SEMARH-TO. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins. **Projeto Barraginhas**. 2015a. Disponível em:

<<http://semarh.to.gov.br/conteudo/projeto-barraginhas/383>>. Acesso em: 16 ago. 2015.

SEMARH-TO. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins. **Plano da bacia hidrográfica do rio Palma: Relatório síntese.** 2015b. Disponível em: <<http://semarh.to.gov.br/conteudo/pbh-do-rio-palma/129>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

SEPLAN-TO. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Base de Dados da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Estado do Tocantins.** Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE) (2010).

_____. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial.** (2012a). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE).

_____. **Base Dados Geográficos - Atualização 2012.** (2012b) - Disponível em: <<http://www.seplan.to.gov.br/Portal/governo/geo/bases-vetoriais>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

_____. **Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins.** Regiões Fitoecológicas da Faixa Sul. Departamento de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Escala 1:100.000. Palmas: Seplan/DZE, 2013.

SHIMABUKURO, Yosio Edemir; NOVO, Evelyn Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33, n. 13, p. 1729-1737, 1998.

SILVA, Alessandra Milano; PANCHER, Andréia Medinilha. **Geotecnologias para elaboração e análise do mapa de susceptibilidade à erosão:** O caso da bacia do córrego Mandu, Município de Rio Claro-SP. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Uso e Ocupação da Terra e as Mudanças das Paisagens. Vitória, ES: Departamento de Geografia, 2013, p. 169 - 178.

SILVA, Fabiane Fernandes da. **Gestão de áreas cársticas em Aurora do Tocantins e Dianópolis – TO:** Uma análise a partir de perturbações ambientais. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2012.

SILVA, José Aloísio da; CASTRO, Wallas de Souza; PRADO, Péricles. **Estudo de Impacto Ambiental: Mineração Taipas - Volume I e II**. Goiânia - GO: Rialma Fertilizantes Indústria e Comércio S/A, 2014. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/eia-rima-rialma-projeto-minera-o-taipas/>>. Acesso em: 08 jun. 2015.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. **Glei Pouco Húmico / Gleissolo Háptico: Características Gerais**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_95_10112005101956.html>. Acesso em: 30 abr. 2015.

SOUZA, João Dalton de; HEINECK, Carlos Alberto; LACERDA FILHO, Jofre Valmório; TEIXEIRA, Léo Rodrigues; VALENTE, Cidney Rodrigues; GUIMARÃES, José Torres; BENTO, Rosemeire Vieira; BORGES, Vânia Passos; SANTOS, Reginaldo Alves; LEITE, Carlos Augusto; NEVES, João Pedreira das; OLIVEIRA, Ivan Wilson Brandão de; CARVALHO, Luiz Moacyr de; PEREIRA, Luiz Henrique Monteiro; PAES, Vinícius José de Castro. 2004. Folha SD.23-Brasília. In: SCHOBENHAUS, Carlos; GONÇALVES, João Henrique; SANTOS, João Orestes Schneider; ABRAM, Máisa Bastos; LEÃO NETO, Reginaldo; MATOS, Gerson Manoel Muniz de; VIDOTTI, Roberta Mary; RAMOS, Maria Angélica Barreto; JESUS, José Domingos Alves de. (eds.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Sistema de Informações Geográficas - SIG - Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília: 2004.

SOUZA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. **Bioma Cerrado: Terra Roxa Estruturada / Nitossolo Vermelho**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_98_10112005101957.html>. Acesso em: 01 maio 2015.

SUGUIO, Kenitiro. O relevo cárstico e a geoespeleologia. In: SUGUIO, Kenitiro. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 277-292.

SZUKALSKI, Bernard W. *Introduction to cave and karst GIS*. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 64, n. 3, 2002.

TOCANTINS. Agência Tocantinense de Saneamento. **Visando combater a seca no Sudeste do Tocantins, ATS cria Programa Água Mais Perto de Você**. 2015. Disponível em: <<http://ats.to.gov.br/noticia/2015/5/11/visando-combater-a-seca-no-sudeste-do-tocantins-ats-cria-programa-gua-mais-perto-de-voce/>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **Caracterização do carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

_____. **Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010. 102 p. Disponível em: <www.tradicaoplanalto.com.br>. ISBN 978-85-99361-17-7. Acesso em: 05 abr. 2013.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 91p. il. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1).

VALERIANO, Márcio de Morisson. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 12, p. 3595-3602, 2005.

VENTURIM, George Hilton. **Diagnóstico Físico-Conservacionista da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jerusalém, Alegre, ES**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES, 2011.

ANEXO A

MAPA EXPLORATÓRIO DE FENÔMENOS CÁRSTICOS

ANEXO A - MAPA EXPLORATÓRIO DE FENÔMENOS CÁRSTICOS DA BACIA DO CÓRREGO CANA-BRAVA, AURORA DO TOCANTINS - TO



1. Topografia

Curvas de nível (50m)
2. Formas Exocársticas

Dolina

Hume

Poljé

Rochas Carbonáticas
3. Formas Endocársticas

Cavernas cadastradas
4. Hidrografia

Córrego Cana-brava

Demais cursos d'água
5. Litologia

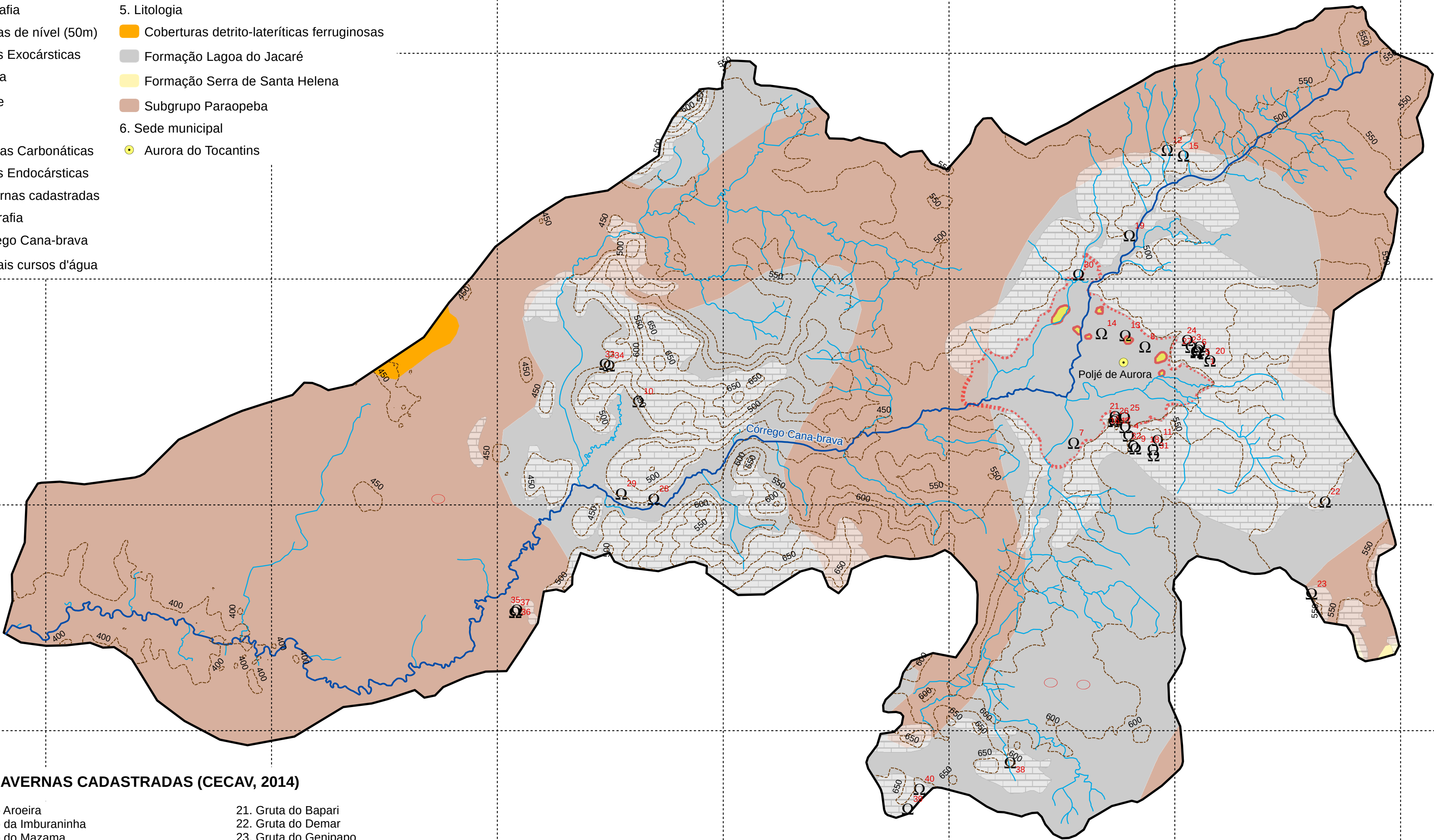
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas

Formação Lagoa do Jacaré

Formação Serra de Santa Helena

Subgrupo Paraopeba
6. Sede municipal

Aurora do Tocantins



CAVERNAS CADASTRADAS (CECAV, 2014)

1. Abismo Aroeira

2. Abismo da Imburaninha

3. Abismo do Mazama

4. Abismo do Sem Noção

5. Abismo Imburaninha II

6. Abismo Umburaninha

7. Abrigo Fazenda Serrado

8. Caverna de maciço cárstico de veredas do Cerrado

9. Caverna do Juraci

10. Caverna Imburuçu

11. Fenda do Bugio

12. Gruta da Cachoeira

13. Gruta da Fortaleza I

14. Gruta da Fortaleza II

15. Gruta da Guariroba I

16. Gruta da Ladeira

17. Gruta da Matança

18. Gruta da Onça do Balneário

19. Gruta das Ras

20. Gruta do Birititi ou Furna do Wagner
21. Gruta do Bapari

22. Gruta do Demar

23. Gruta do Genipapo

24. Gruta do Sabiá

25. Gruta do TIM

26. Gruta do Zequinha

27. Gruta Emburana

28. Gruta Estiva I

29. Gruta Estiva II

30. Gruta Feliz Aniversário

31. Toca do Ildeu

32. Toca dos Escondidos

33. Gruta do Córrego Imburuçu

34. Gruta do Imburuçu de Cima

35. Furna da Gameleira

36. Furna Olhar Sinistro

37. Furna Tronco Cortado

38. Gruta da Livisia

39. Gruta Mucambo I

40. Gruta Mucambo II

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Moraes
Mestranda: Zuleide Alves Ferreira
Mapa elaborado a partir do mosaico de imagens RapidEye ortorretificadas com resolução espacial de 5 metros, na composição colorida 3R2G1B, captadas em 06 de setembro de 2012 e da base de dados geoespacializados de cavidades naturais subterrâneas do CECav, situação em 31 de agosto de 2014. Os dados de litologia foram extraídos da base de dados do Serviço Geológico do Brasil - CPRM - Geobank - Tabela de atributos de 29 de junho de 2010.
Sistema de Coordenadas Geográficas / Datum horizontal: SIRGAS 2000.

