Diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-brava, Aurora do Tocantins (TO, Brasil)

Physical diagnostic-conservationist of karstic environment of watershed Cana-brava river, Aurora do Tocantins (TO, Brasil)

Zuleide Alves Ferreira
Agrimensora, mestra em Ciências do Ambiente pela UFT
Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, Brasil
zuleide@ifto.edu.br

Fernando de Morais
Geógrafo, doutor em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela UFOP
Professor dos Programas de Pós-graduação em Geografia e em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Brasil
morais@mail.uft.edu.br

Resumo
Atualmente, é possível constatar um crescente aumento da degradação do meio, o qual está relacionado ao desenvolvimento das atividades humanas. Os terrenos cársticos são ambientes muito 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. Diante disso, 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, uma vez que esta atendeu ao objetivo proposto que consistiu em mensurar o potencial de degradação física de uma bacia hidrográfica, mesmo estando situada em um ambiente cárstico.

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

Abstract
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. The karst terrains are environments very 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, the main objective of this work was to be done through necessary adjustments, the physical diagnostic-conservationist of karstic environment of watershed Cana-brava river, 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 karstic environment, once 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.

Keywords: karst, environmental degradation, watershed.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é possível constatar um crescente aumento da degradação do meio, o qual está relacionado 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. Alguns processos de degradação natural ocorrem mesmo sem a intervenção humana, porém, atividades antrópicas como o desmatamento excessivo, práticas agrícolas inadequadas, mineração e urbanização potencializam estes processos, acarretando consequências quase sempre desastrosas para o meio físico e para a sociedade. Sendo assim, torna-se necessário que estes processos descontrolados de degradação dos recursos naturais renováveis sejam analisados e contidos de forma rápida e eficiente.

O Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) consiste num instrumento essencial em um trabalho de preservação, e busca explicitar a situação real em que se encontram os recursos naturais renováveis em um determinado espaço geográfico, sendo necessária, para isto, uma análise de indicadores potenciais de proteção ou degradação destes recursos naturais (BELTRAME, 1994).

Os terrenos cársticos consistem em ambientes extremamente 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 excessivamente solúveis, podem ocorrer colapso do terreno nesses locais, o que sugere uma maior atenção a esses ambientes.

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).

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 no ambiente cárstico no Brasil até o presente momento. Neste sentido, este trabalho teve como 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.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 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 km^2, 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 1).

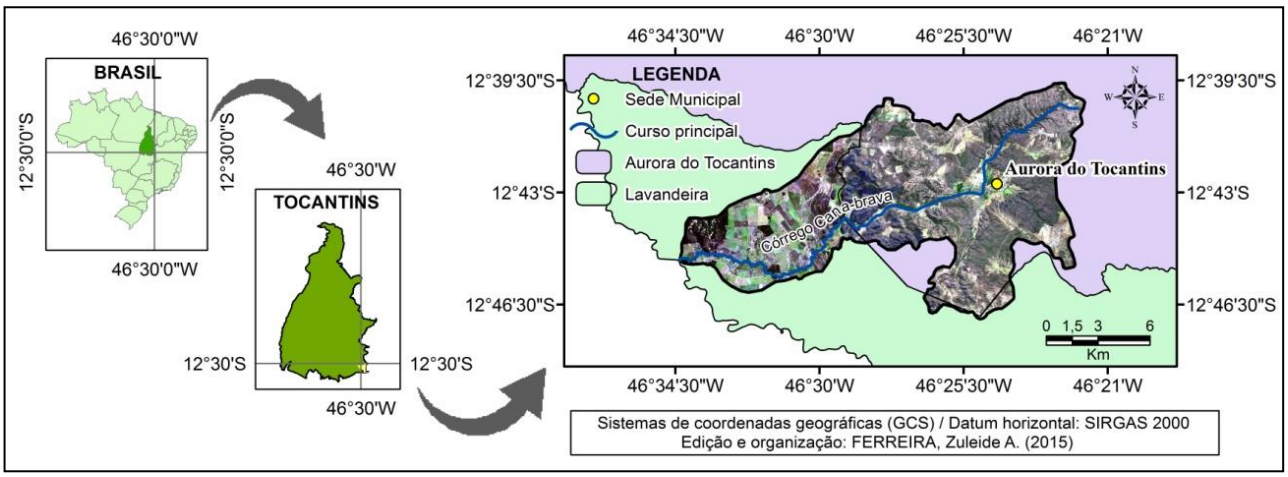


Figura 1: Mapa de localização da bacia do córrego Cana-brava.

2.1.1. Hidrografia

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) citado por Cristofoletti (1980), 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 1.

Tabela 1: Análise linear da rede hidrográfica do córrego Cana-brava, baseada em Christofoletti (1980).

Ordem	Quantidade de Canais	Extensão (m)	Extensão Média (m)
1ª ordem	164	86.265,38	526,01
2ª ordem	50	39.872,98	797,46
3ª ordem	12	18.731,96	1.561,00
4ª ordem	8	17.409,06	2.176,13
5ª ordem	1	27.814,28	27.814,28
TOTAL	**235**	**190.093,66**	**808,91**

Fonte: Elaborada pela autora conforme Christofoletti (1980).

Visando proporcionar uma análise ambiental mais detalhada da bacia do córrego Cana-brava, foi necessária a setorização da mesma, a qual consistiu na subdivisão da bacia em três setores, conforme a metodologia de Beltrame (1994) (Figura 2). Para isto, foram utilizados critérios hidrográficos, o Modelo Digital de Elevação do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), o mapa hipsométrico, o relevo sombreado e o perfil longitudinal do canal principal.

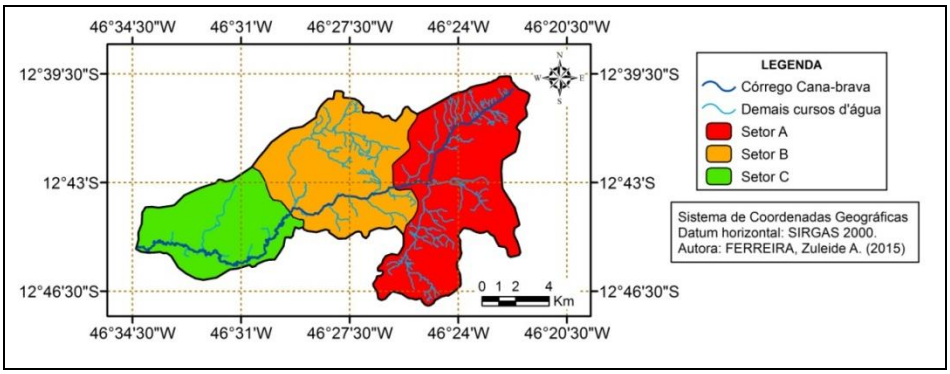


Figura 2: Mapa de setorização da bacia do córrego Cana-brava.

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 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 2 demonstra a proporção espacial da setorização da bacia do córrego Cana-brava.

Tabela 2: 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: Dados da pesquisa.

2.1.2. Geologia

Segundo Morais (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). Este grupo 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 3) (SOUZA et al., 2004).

A geologia da bacia do córrego Cana-brava é constituída principalmente pelo Subgrupo Paraopeba e pela Formação Lagoa do Jacaré, conforme demonstrado na tabela 3.

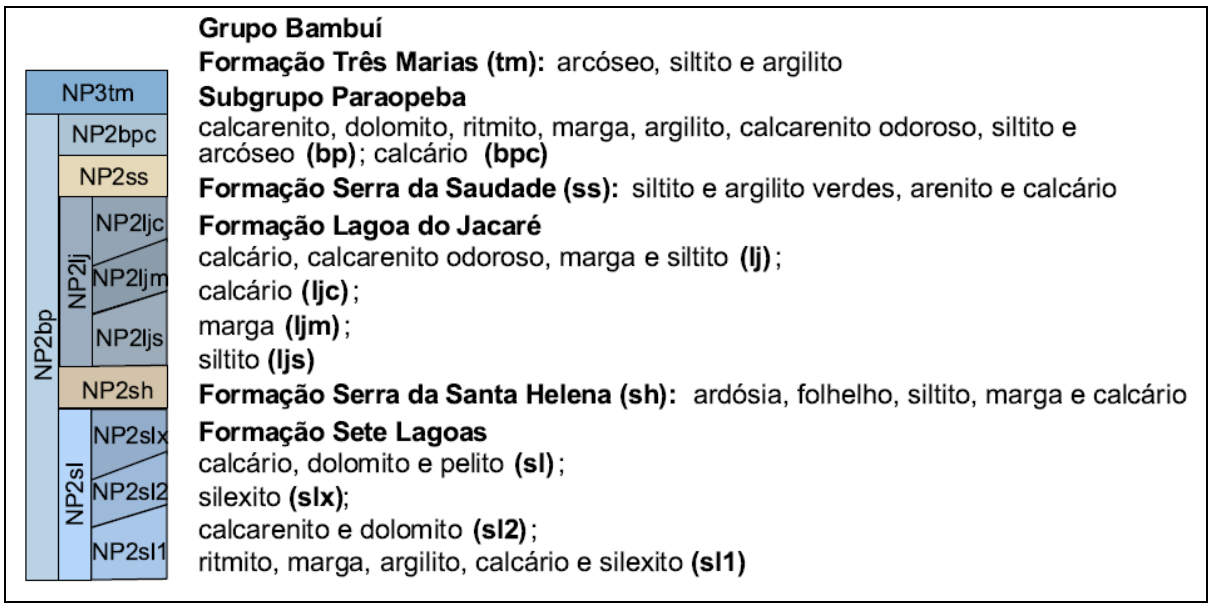


Figura 3: Distribuição das formações geológicas do Grupo Bambuí (SOUZA et al., 2004).

Tabela 3: Distribuição por área das unidades geológicas da bacia do córrego Cana-brava, baseado em CPRM (2004).

Composição Geológica	Área (km²)	Percentual (%)
Subgrupo Paraopeba	88,91	55,33
Formação Lagoa do Jacaré	71,23	44,33
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	0,48	0,30
Formação Serra de Santa Helena	0,07	0,04
TOTAL	**160,69**	**100**

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.

2.1.3. Geomorfologia

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) (IBGE, 2009).

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. A área de estudo apresenta, também, dois modelados de dissolução, denominados carste descoberto (Kd) e carste em exumação (Ke).

A tabela 4 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%).

Aproximadamente 60% da área da bacia do córrego Cana-brava está situada em ambiente cárstico, onde podem ser visualizadas diversas feições cársticas como dolinas, *poljés*, cavernas, humes e lapiás. Além disso, atualmente, existem 40 cavernas cadastradas no interior da bacia (CECAV, 2014).

Ao analisar os aspectos físicos da bacia do córrego Cana-brava, pode ser constatada uma maior rugosidade do relevo em seu alto e médio curso devido à presença de feições cársticas como morros calcários e humes. O baixo curso da bacia 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 maior rugosidade verificada neste setor, pode-se perceber que a mesma está situada sobre uma planície denominada *poljé*.

Tabela 4: Distribuição por área das unidades geomorfológicas da bacia do córrego Cana-brava, baseado em IBGE (2009).

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**

2.1.4. Pedologia

A tipologia dos solos da área de estudo (Figura 4) é composta, segundo a base de dados geográficos da SEPLAN-TO (2012a), 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 5.

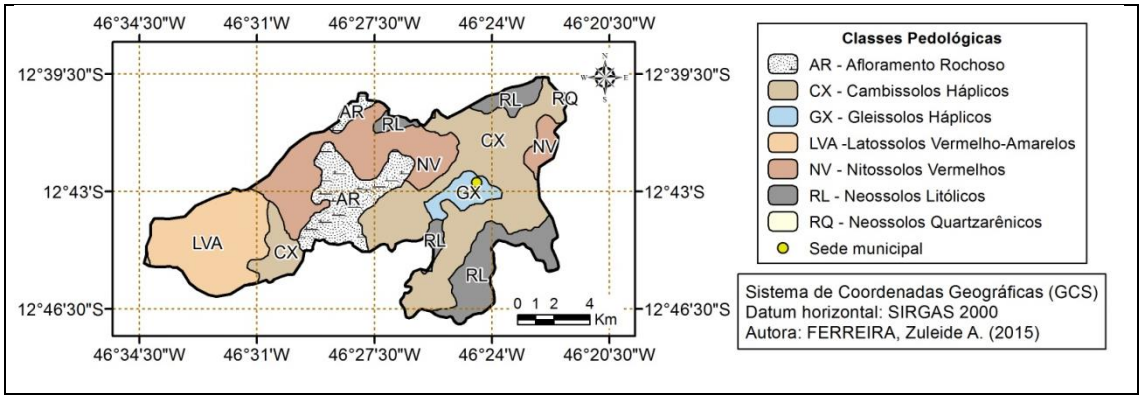


Figura 4: Mapa pedológico da bacia do córrego Cana-brava.

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. Ainda segundo os autores, esses solos podem ser oriundos de

materiais estratificados e se desenvolvem em áreas onde existe influência de afloramento de água subterrânea (surgência).

Tabela 5: Distribuição por área das classes pedológicas da bacia do córrego Cana-brava (SEPLAN, 2012a).

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**

2.2. Aplicação do 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 consistiu em 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. De acordo com a autora, apesar de genérica, a metodologia do Diagnóstico Físico-Conservacionista 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 1).

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.

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 a fertilidade do solo.

Quadro 1: Fatores potenciais naturais de degradação física (BELTRAME, 1994).

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)

Para a determinação dos parâmetros de cobertura vegetal original (CO) e de cobertura vegetal atual (CA) foi utilizada a técnica de classificação supervisionada 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 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) datam de 1984 e as mais recentes são do ano de 2011. Além disso, as imagens precisavam estar livres da cobertura de nuvens e por isso foram selecionadas imagens dos meses de junho a agosto.

Para a determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) do uso e ocupação da terra dos setores da 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.

Segundo 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 2.

Quadro 2: Classificação quanto ao grau de semelhança entre a vegetação atual e original (BELTRAME, 1994).

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	$(CO)_5$

Cabe ressaltar que 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. Devido à pouca disponibilidade de dados para a área, os anos de 1986 e 2011 foram considerados como referência para a vegetação original e vegetação atual da bacia do córrego Cana-brava, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Determinação dos parâmetros de cobertura vegetal original (CO) e cobertura vegetal atual (CA)

Para determinação da cobertura vegetal original (CO) para os setores A, B e C da bacia, foi utilizado o resultado da classificação das imagens Landsat-5-TM, resultando na tabela 6.

No ano de 1986, a área ocupada pela cobertura vegetal original no setor A era constituída por: 35,20 km² de cerrado sentido restrito; 12,74 km² de campo rupestre e 6,46 km² 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; 6,52 km² de campo rupestre e 1,47 km² de mata de galeria, 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 CO_3 (medianamente semelhante) para o setor A.

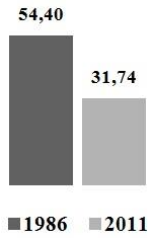
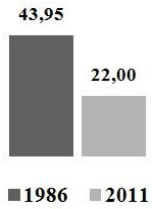
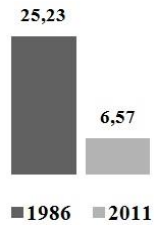
A cobertura vegetal do setor B, no ano de 1986, era constituída por: 26,39 km² de cerrado sentido restrito; 11,82 km² de campo rupestre e 5,74 km² de mata de galeria, o que totalizava em 43,95 km² (81,13% da área total do setor). Já no ano de 2011, a área ocupada pela cobertura vegetal no setor B era composta por: 11,01 km² de campo rupestre; 9,39 km² de cerrado sentido restrito e 1,60 km² de mata de galeria, totalizando 22,00 km² (40,60% da área do setor B). Assim, a área ocupada pela cobertura vegetal em 2011 representa aproximadamente 50% da área ocupada pela cobertura vegetal original, indicando também, um parâmetro de semelhança CO_3 (medianamente semelhante).

Tabela 6: 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 S. 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**

A cobertura vegetal do setor C, no ano de 1986, era composta por: 20,89 km² de cerrado sentido restrito; 3,57 km² de mata de galeria e 0,77 km² de campo rupestre, 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; 1,51 km² de mata de galeria e 0,67 km² de campo rupestre. 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, cerca de 26% da vegetação original (1986), o que indica um grau de semelhança CO_4 (baixa semelhança). O quadro 3 traz um resumo dos valores utilizados para a determinação do parâmetro cobertura vegetal original (CO) para os setores A, B e C.

Quadro 3: Área ocupada por cobertura vegetal por setores

Setor A (km²)	Setor B (km²)	Setor C (km²)
		
≅ 58% da área original Medianamente Semelhante **CO_3**	≅ 50% da área original Medianamente Semelhante **CO_3**	≅ 26% da área original Baixa Semelhança **CO_4**

Para a determinação do grau de proteção que a vegetação proporciona ao solo, foi necessária 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 (hum) solo totalmente protegido, conforme o quadro 4 (BELTRAME, 1994).

Quadro 4: Índice e símbolo de proteção da vegetação (BELTRAME, 1994).

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

A tabela 7 apresenta 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 (SR) corresponde ao produto da área da classe pelo respectivo índice de proteção (IP). Do mesmo modo, o índice de proteção do setor (IPS) é calculado em função da divisão do somatório da superfície reduzida pela área total do setor.

Tabela 7: Tipos de cobertura vegetal e o respectivo índice de proteção fornecida ao solo - Setor A (Adaptado de BELTRAME, 1994, CHUEH, 2004 e PAZ, 2013).

Tipo de Cobertura Vegetal	SETOR A				SETOR B				SETOR C			
	Área (km²)	IP	SR	IPS	Área (km²)	IP	SR	IPS	Área (km²)	IP	SR	IPS
Agropecuária	35,91	0,4	14,36		32,17	0,4	12,87		31,36	0,4	12,54	
Área Urbanizada	0,94	0,2	0,19		0,00	0,2	0,00		0,00	0,2	0,00	
Campo Rupestre	6,52	0,4	2,61		11,01	0,4	4,40		0,67	0,4	0,27	
Cerrado S. Restrito	23,75	0,7	16,63		9,39	0,7	6,57		4,39	0,7	3,07	
Mata de Galeria	1,47	1	1,47		1,60	1	1,60		1,51	1	1,51	
Total	**68,59**		**35,26**	**0,51**	**54,17**		**25,44**	**0,47**	**37,93**		**17,39**	**0,46**

O quadro 5 resume os resultados encontrados na etapa de determinação do grau de proteção oferecida pela cobertura ao solo.

Quadro 5: Índices e símbolos respectivos da proteção oferecida pela cobertura por setores (Adaptado de BELTRAME, 1994).

Setor	Índice	Símbolo
A	0,51	**CA_4**
B	0,47	**CA_4**
C	0,46	**CA_4**

3.2. 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), a saber: plano (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 (Quadro 6). Cabe ressaltar que existem seis classes de relevo de acordo com a nova classificação do IBGE (2007), mas Beltrame (1994), em sua metodologia, considerou apenas quatro e por isso os índices variam apenas de 1 a 4. Assim, neste trabalho, a atribuição de índices para cada intervalo de declividade respeitou os valores sugeridos pela autora.

Quadro 6: Classes de declividade, índices esímbolos utilizados (BELTRAME, 1994).

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

O mapa de declividade da bacia do córrego Cana-brava (Figura 5) foi gerado através do *software* SPRING 5.2.6, utilizando como base o Modelo Digital de Elevação Topodata (VALERIANO, 2005).

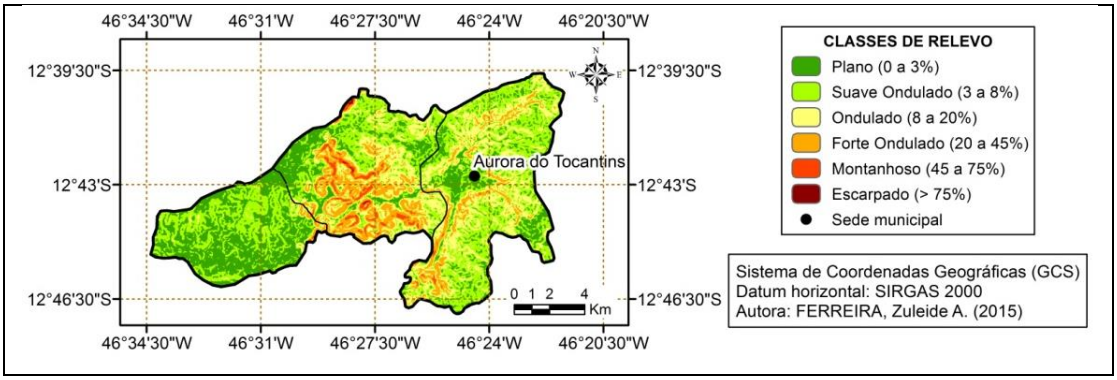


Figura 5: Mapa de declividade da bacia do córrego Cana-brava.

3.2.1. Declividade nos setores A, B e C

Como pode ser observado na tabela 8, no setor A predominam áreas com relevo suave ondulado, representando 43,72% de sua área. O relevo ondulado constitui 30% da área deste 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 8: 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	
	(km²)	%	(km²)	%	(km²)	%
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**

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.

O setor C 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, foi utilizada a média de dados agrupados em intervalos de classe (Tabela 9).

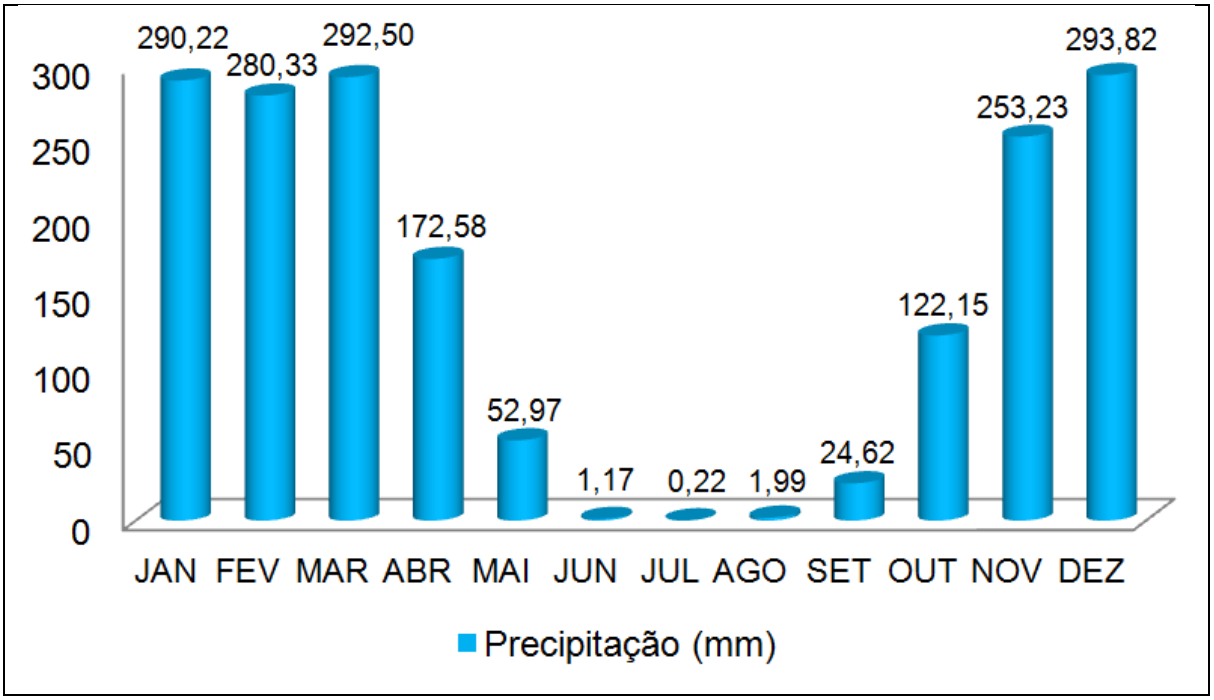
Tabela 9: Declividade média da bacia do córrego Cana-brava por setores.

	SETOR A			SETOR B			SETOR C		
Declividade	***fi* (km²)**	***xm***	***fi * xm***	***fi* (km²)**	***xm***	***fi * xm***	***fi* (km²)**	***xm***	***fi * xm***
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	**DM_2 (Ondulado)**			**DM_2 (Ondulado)**			**DM_1 (Suave Ondulado)**		

3.3. 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. Para a determinação do parâmetro erosividade da chuva (E) na bacia do córrego Cana-brava, foi necessário o cálculo de precipitação média mensal dos anos de 1986 a 2011 demonstrado no gráfico 1.

Gráfico 1: Precipitação média da bacia do córrego Cana-brava - 1986 a 2011



Fonte: baseado 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), citado por Beltrame (1994) (Equação 1).

$$\mathbf{E} = 6{,}886\ (r^2/P)^{0{,}85} \qquad \textbf{(1)}$$

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 (2012b), variaram de 1200 milímetros a 2100 mm no ano de 2011. Houve uma pequena discrepância entre os dados da ANA (2015) e da SEPLAN-TO (2012b), sendo que de acordo com a ANA (2015), a precipitação máxima para o Estado do Tocantins para o mesmo ano ficou em torno de 2000 mm. Apesar disso, foram observadas as faixas de precipitação mínima e máxima, 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 mínima e máxima para o Estado do Tocantins (Tabela 10), cujos valores correspondem a 785,22 t/ha.mm/h (Fazenda Santa Rita) e 1148,53 t/ha.mm/h (Cidade de Marianópolis).

Tabela 10: Erosividade da chuva nas estações da Fazenda Santa Rita e da cidade de Marianópolis

ANO 2011 (MESES)	FAZENDA SANTA RITA		CIDADE DE 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: baseado nos dados da ANA (2015)

Com base nos dados da tabela anterior, foi gerado o quadro de classificação dos índices de erosividade para o Estado do Tocantins com seus respectivos símbolos e subíndices (Quadro 7).

Quadro 7: 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 11) foi elaborada com uso dos dados de precipitação da estação pluviométrica de Aurora do Tocantins.

Tabela 11: 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: baseado nos dados da ANA (2015)

Com base nos resultados encontrados, foi gerado o quadro 8, que apresenta o índice de erosividade para a bacia do córrego Cana-brava. Em virtude da pequena área de abrangência da bacia, não foi possível obter um detalhamento da erosividade da chuva por setor, sendo o valor do parâmetro E encontrado atribuído aos três setores.

Quadro 8: 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	**E_3**
Setor B	999,24	Erosividade forte	**E_3**
Setor C	999,24	Erosividade forte	**E_3**

Fonte: baseado em Beltrame (1994).

3.4. Determinação do parâmetro potencial erosivo do solo (PE)

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.

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.

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 a partir dos 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 os quadros 9 a 13.

Quadro 9: 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: baseado em Santos (2010); Crepani et al. (2001); Jansen (2013)]

Quadro 10: 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 e Júnior (2010); Silva et al. (2014).

Quadro 11: 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: baseado em Bonna (2011)

Quadro 12: Valores atribuídos para variável Pedologia.

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

Quadro 13: 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**

O parâmetro potencial erosivo do solo da bacia do córrego Cana-brava foi determinado 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 a tabela 12.

Tabela 12: 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: 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.

Para obtenção do índice de potencial erosivo do solo, 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) (Quadro 14).

Quadro 14: Escalonamento dos índices do potencial erosivo, qualificação e símbolo respectivo

Potencial Erosivo	Símbolo	Escalonamento dos índices de potencial erosivo do solo
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 0375
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

A tabela 13, elaborada conforme Beltrame (1994), demonstra o cálculo do potencial erosivo do solo para cada setor da bacia do córrego Cana-brava.

O quadro 15 apresenta os índices de potencial erosivo para cada setor da bacia do córrego Cana-brava.

Tabela 13: Cálculo do potencial erosivo do solo da bacia Cana-brava por setor.

Setor	Potencial Erosivo	Área (km²)[(a)]	Índice do Potencial Erosivo do Solo[(b)]	Superfície Reduzida[(c)]	Índice do Potencial Erosivo do solo Total por setor[(d)]
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**

(a) Área ocupada por cada classe de potencial erosivo. (b) Índices de potencial erosivo. (c) Produto dos valores das colunas (a) e (b). (d) Razão do somatório da coluna (c) pelo somatório da coluna (a).

Quadro 15: Classes de potencial erosivo do solo por setores, respectivos índices e símbolos

Setor	Potencial Erosivo	Índice	Símbolo
A	Alto	0,71	**PE_6**
B	Moderado a alto	0,59	**PE_5**
C	Moderado	0,47	**PE_4**

3.5. Determinação do parâmetro de densidade de drenagem (DD)

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. Ainda segundo a autora, os valores de densidade de drenagem (DD) são estabelecidos conforme demonstrado no quadro 16.

Quadro 16: 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).

A densidade de drenagem (DD) é definida pela razão do comprimento total dos cursos d'água pela área total da bacia. Segundo Christofoletti (1980).

Para a determinação do parâmetro de densidade de drenagem (DD), foram utilizados os dados da hidrografia da bacia do córrego Cana-brava. A tabela 14 apresenta os valores de densidade de drenagem para os setores A, B e C.

Tabela 14: 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	**DD_2**
B	66,14	54,17	**1,22**	Mediana	**DD_2**
C	28,40	37,93	**0,75**	Mediana	**DD_2**

3.6. Determinação do parâmetro balanço hídrico (BH)

Para Beltrame (1994), o balanço hídrico representa mais um indicador do potencial natural de degradação e/ou conservação física da bacia hidrográfica, isso porque 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 2 de Castany (1968 citado por BELTRAME, 1994, p. 85).

$$\boxed{P = E + Q} \qquad \textbf{(2)}$$

Onde:

P = Precipitação total

E = Evapotranspiração real

Q = Escoamento total ou excedente hídrico

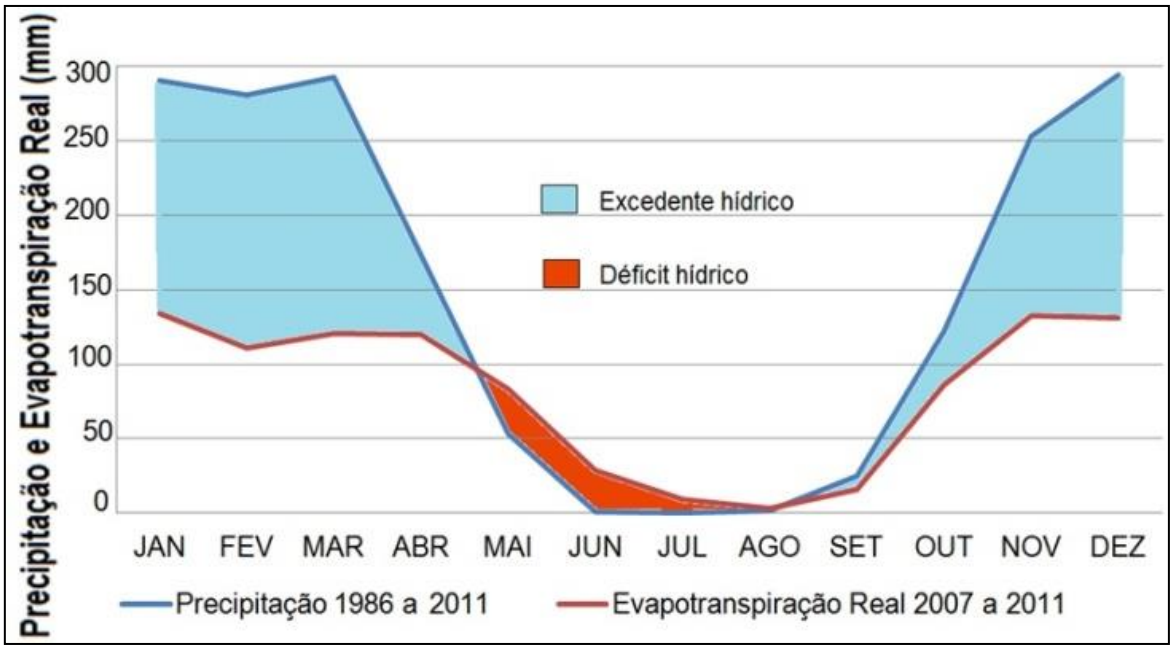
Para a determinação do balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava, foram utilizados os valores de precipitação da estação pluviométrica de Aurora do Tocantins (ANA, 2015) e os valores de evapotranspiração real da estação evaporimétrica de Taguatinga - TO (INMET, 2015). Cabe salientar que, foi necessário o uso desta estação em virtude de ser a estação evaporimétrica mais próxima, estando situada há uma distância linear de pouco mais de 30 km 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 15 e o gráfico 2 demonstram o balanço hídrico para a bacia do córrego Cana-brava.

O excedente hídrico médio para o Estado do Tocantins varia de 150 a 650 mm por ano (SEPLAN-TO, 2012b). O quadro 17 apresenta a classificação quanto aos valores do balanço hídrico elaborado conforme a metodologia de Beltrame (1994).

Tabela 15: 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	
Maio	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**

Gráfico 2: Balanço hídrico da bacia do córrego Cana-brava.



Quadro 17: 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.

O quadro 18 demonstra os índices do parâmetro do balanço hídrico para os setores da bacia do córrego Cana-brava, definidos com base nos resultados da tabela 15 e do quadro 17.

Quadro 18: Índices para parâmetro balanço hídrico para os setores A, B e C.

Setor	Qualificação	Símbolo
A	Baixo	**BH_4**
B	Baixo	**BH_4**
C	Baixo	**BH_4**

3.7. Fórmula descritiva final

A fórmula descritiva final (Equação 3), definida por Beltrame (1994), expressa o estado físico-conservacionista e define numericamente o risco de degradação física de uma bacia hidrográfica.

$$\mathbf{E(f)} = COa + CAb + DMc + Ed + PEe + DDf + BHg \qquad \textbf{(3)}$$

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).

Deste modo, o valor mínimo que poderia ser obtido na equação 3 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.

O quadro 19 apresenta uma síntese dos índices obtidos em cada parâmetro para os setores A, B e C da bacia do córrego Cana-brava.

Quadro 19: 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**

3.8. 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 para cada setor. Sendo assim, foram substituídos os valores mínimo e máximo nos eixos cartesianos, conforme o desenvolvimento da equação reduzida a seguir (Equação 4).

$$\boxed{y = ax + b} \qquad \textbf{(4)}$$

Se $y = 0$, $x = 7$, $7a + b = 0$

Se $y = 100$, $x = 37$, $37a + b - 100 = 0$

$$37a + b - 100 = 0$$
$$7a + b = 0 \ (-1)$$
$$30a - 100 = 0$$
$$\therefore$$
$$\boxed{\begin{array}{l} a = 3{,}33 \\ b = -23{,}33 \end{array}}$$

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) as quais indicarão as unidades de risco de degradação física da bacia, conforme demonstra a tabela 16.

Tabela 16: Cálculo dos valores de unidades de risco de degradação da bacia do córrego Cana-brava.

Setor	∑ (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**

3.9. Avaliação da aplicação do Diagnóstico Físico-Conservacionista

A caracterização do diagnóstico físico-conservacionista se apresentou semelhante para os 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 (CO_3), indicando uma cobertura vegetal atual medianamente semelhante à cobertura vegetal original. O setor C, por sua vez, apresentou um índice (CO_4), 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 (DM_2), o que caracteriza um relevo ondulado. No entanto o setor C, que corresponde ao baixo curso da bacia, este parâmetro apresentou um relevo plano (DM_1).

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 (PE_6) e o setor C apresentou o menor potencial erosivo do solo (PE_4). 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). Vale ressaltar 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.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 do solo, onde foi utilizada uma análise multicriterial.

Uma dificuldade encontrada foi a inexistência de dados mais antigos referentes à cobertura vegetal da bacia, 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, devido à pequena área de abrangência da área de estudo, onde foi possível constatar uma generalização de alguns dados geográficos (solos, geologia e geomorfologia).

Os resultados obtidos no presente trabalho apontaram 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.

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. Ademais, 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). É necessário enfatizar 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.

REFERÊNCIAS

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

BELINTANI, H.; MEIRELLES, M. S. P. **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, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas; modelo e aplicação.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 111p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **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, J. L. **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.

CECAV. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas do CECAV, situação em 31/08/2014.** 2014. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>. Acesso em: 18 set. 2014.

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

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

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. Cap. 07, p. 337-379.

DINIZ, S. F.; MOREIRA, C. A.; CORRADINI, F. A. **Susceptibilidade erosiva do baixo curso do rio Acaraú-CE.** Geociências (São Paulo), São Paulo, v. 27, n. 3, p. 355-367, 2008.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T; ARAI; F. K. **Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas.** Floresta, Curitiba, PR, v. 41, p. 797-808, 2011.

GUIMARÃES, R. L. **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.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 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).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 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, 2009. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/banco_dados_georeferenciado_recursos_naturais/>. Acesso em: 02 nov. 2014.

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

JANSEN, D. C. **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.

LACERDA FILHO, J. V.; REZENDE, A.; SILVA, A. **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.

MORAIS, F. **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.

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

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

PAULINO, R. B. **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.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. **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.

RICCIARDI, C. T. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, G. M. **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.

SANTOS, A. A. **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, H. G.; ZARONI, M. J. **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.

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).

SEPLAN-TO. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Base Dados Geográficos - Atualização 2012.** (2012a) - Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/Portal/governo/geo/bases-vetoriais>. Acesso em: 04 jun. 2013.

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

SILVA, A. M.; PANCHER, A. M. **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, J. A.; CASTRO, W. S.; PRADO, P. **Estudo de Impacto Ambiental:** Mineração Taipas - Volume I e II. Goiânia - GO: Rialma Fertilizantes Indústria e Comercio S/A, 2014. Disponível em: <http://naturatins.to.gov.br/eia-rima-rialma-projeto-minera-o-taipas/>. Acesso em: 08 jun. 2015.

SOUZA, J. D; HEINECK, C. A.; LACERDA FILHO, J. V.; TEIXEIRA, L. R.; VALENTE, C. R.; GUIMARÃES, J. T.; BENTO, R. V.; BORGES, V. P.; SANTOS, R. A.; LEITE, C. A.; NEVES, J.

P.; OLIVEIRA, I. W. B.; CARVALHO, L. M.; PEREIRA, L. H. M.; PAES, V. J. C. 2004. Folha SD.23-Brasília. In: SCHOBBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. (eds.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo.** Sistema de Informações Geográficas - SIG - Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília: 2004.

VALERIANO, M. M. **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.

Trabalho enviado em 11/05/2017
Trabalho aceito em 20/11/2017