

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MUTUM (PANTANAL NORTE - BRASIL)**

Ana de Paula Gonçalves Mello

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Dezembro/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MUTUM (PANTANAL NORTE - BRASIL)**

Ana de Paula Gonçalves Mello

Orientadora: Prof. Dra. Simoni Maria Loverde Oliveira
Co-orientador: Prof. Dr. Caio Augusto Marques dos Santos

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Dezembro/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MUTUM (PANTANAL NORTE - BRASIL)**

Ana de Paula Gonçalves Mello

Dissertação de Mestrado submetida ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de contração de Geotecnologias Aplicadas à Gestão e Análise Ambiental em opção Acadêmica.

Aprovado por:

Simoni Maria Loverde Oliveira
(Orientadora)

José Adolfo Iriam Sturza
(Examinador Interno)

João Osvaldo Rodrigues Nunes
(Examinador Externo)

Rondonópolis-MT, 08 de dezembro de 2016.

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D278v de Paula Gonçalves Mello, Ana.
Vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Mutum :
(Pantanal Norte - Brasil) / Ana de Paula Gonçalves Mello. -- 2016
xvii, 94 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Simoni Maria Loverde Oliveira.
Co-orientadora: Caio Augusto Marques dos Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Programa de Pós-
Graduação em Geografia, Rondonópolis, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Pantanal. 2. vulnerabilidade ambiental. 3. erosão. 4. uso e
cobertura vegetal da terra. 5. bacia hidrográfica. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
Rodovia Rondonópolis-Guiratinga, km 6 (MT-270) - - Cep: 78735901 -Rondonópolis/MT
Tel : (66) 3410-4020 - Email : mestrado_ppgeo_cur@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO : "VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MUTUM (PANTANAL NORTE - BRASIL)"**

AUTOR : Mestranda ANA DE PAULA GONÇALVES MELLO

Dissertação defendida e aprovada em 08/12/2016.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador	Doutor(a)	Simoni Maria Loverde Oliveira
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO		
Coorientador	Doutor(a)	Caio Augusto Marques dos Santos
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO		
Examinador Interno	Doutor(a)	José Adolfo Iriam Sturza
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO		
Examinador Externo	Doutor(a)	João Osvaldo Rodrigues Nunes
Instituição : UNESP - Presidente Prudente		
Examinador Suplente	Doutor(a)	Ibraim Fantin da Cruz
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO		

RONDONÓPOLIS, 12/01/2017.

Prof. Dr. Jeater M. C. Santos
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Geografia
ICHS/CUR/UFMT

Dedico este trabalho a minha mamãe, a minha orientadora e a Valdeci.

AGRADECIMENTOS

E aqui estou eu, mais uma vez, devendo agradecimentos para inúmeras pessoas excepcionais e instituições que me auxiliaram efetivamente, me apoiando nessa árdua caminhada acadêmica e de vida.

À Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Rondonópolis por todas as oportunidades, a mim, concedidas nos últimos seis anos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso FAPEMAT pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal em Nível Superior pela concessão da bolsa de mestrado a Ana de Paula G. Mello.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Rondonópolis por tornar este sonho possível.

À Banca Examinadora integrada pelos Professores Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes, Dr. José Adolfo Iriam Sturza e Dra. Simoni Maria Loverde Oliveira, pela atenção e prontidão em contribuir para o avanço deste trabalho.

À professora orientadora Dra. Simoni Maria Loverde Oliveira, meus mais especiais agradecimentos nesta etapa, por todo o companheirismo, dedicação, exemplo, maestria e todos os mais justos adjetivos para explicar sua generosidade e talento enquanto mulher e professora.

Ao professor e Co-orientador Dr. Caio Augusto Marques dos Santos, por todas as avaliações, indicações e correções.

Ao indispensável amigo Msc. Valdeci Oliveira, que me auxiliou efetivamente, nas várias ocasiões de coletas de campo, com utilização de músculos, neurônios, filtro solar, um leve toque de “engenharia” e muita paciência.

Aos meus amigos Alesson e Aparecido, também pela ajuda nos trabalhos de campo, sem o que isso não teria sido possível.

Ao professor Rafael Loverde pela preciosa ajuda com os mapas topobatimétricos e, por toda a paciência e desprendimento em ensinar.

Ao querido companheiro de laboratório e amigo Msc. Gustavo Benedito Medeiros Alves pela concessão de dados indiretos de inundações produzidos em seu trabalho.

Ao amigo Darlan de Souza Marquezola por todas as conversas e trabalhos de campo realizados em todos esses anos do projeto “Bacia do Rio Mutum”.

A toda equipe do Laboratório de Análises Hídricas e Ecologia Aplicada, da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Rondonópolis, o que fez dos meus dias de laboratório mais gordinhos e divertidos.

À colega mestrande Camila Silva Favretto, pela disponibilidade e proverbial paciência, bem como por todos os inúmeros favores.

A professora Dra. Kariana Tondato, por todas as conversas e ajuda com o Programa Excel.

A técnica Msc. Marta S. de Souza, por todos os orçamentos, caronas e abraços encorajadores.

Ao meu namorado Rodrigo pelo contínuo encorajamento e, pela aula de programação em LEGAL, com ajuda de computador remoto e, por ter escutado minhas lamurias e choros sem sentido por todo o tempo do trabalho.

Aos meus amigos Helen, Sony e Patrícia, pelo apoio e compreensão nos dias difíceis e decisivos, quando a amizade era só no que eu podia confiar.

Ao meu Pai, com carinho por tudo ao longo da vida e, ajuda na correção ortográfica deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, meus mais profundos agradecimentos à minha mãe por todos esses anos de incentivo, amor, ternura, conselhos, brigas e, por todo o conhecimento acadêmico e de vida divididos.

“Palavras, na minha não tão humilde opinião, são
nossa inesgotável fonte de magia”

Alvo Percival Wulfrico Brian Dumbledore
Harry Potter e As relíquias da Morte.

Ou parafraseando: palavras e mapas são nossas
inesgotáveis fontes de magia e transformação.

RESUMO

Um das principais preocupações, em se tratando dos usos da terra, estão centradas nos processos erosivos, especialmente quando executados de forma inadequada e em locais vulneráveis o que, via de regra, tem como consequências problemas ambientais, sociais e econômicos substantivos. Os padrões de usos da terra praticados nas áreas de Planalto, no entorno do Pantanal e, na própria planície, podem ter efeitos diretos e efetivos sobre as zonas inundáveis, espaço em que toda a dinâmica de uso e ocupação da terra tem estreitas relações com o pulso de inundação. O objetivo deste trabalho foi realizar o zoneamento da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum, estabelecendo suas relações espaciais com os diferentes usos da terra e analisar indícios de relação entre a perda de solo com os processos de transporte e deposição de sedimentos na baía Sinhá Mariana, próxima a foz do rio Mutum. Esta bacia ($16^{\circ}22'58''\text{S}$ e $55^{\circ}48'90''\text{O}$) ocupa unidades geomorfológicas do Planalto dos Guimarães e parte da Planície do Pantanal Mato-grossense. Tecnicamente foi aplicada a metodologia do zoneamento da vulnerabilidade ambiental proposta por Crepani et al. (2001) adaptada com a inclusão do tema inundação. Para cada um dos seis temas foram estabelecidas classes e atribuídos pesos conforme os potenciais de pedogênese e morfogênese para em seguida gerar o mapa síntese de vulnerabilidade. Usando métodos e técnicas de geoprocessamento, em ambiente SIG, foram elaborados com base em imagens orbitais e, dados vetoriais, a rede de drenagem, o limite e declividade da bacia e, os mapas de vulnerabilidade por meio da programação LEGAL. Foram realizados dois levantamentos topobatimétricos e obtidas informações sobre o aporte de sedimentos suspensos, estimativa de vazão líquida e sólida total e tipos granulométricos nas épocas de seca e cheia, com o objetivo em buscar a caracterização geral do sistema integrado pelo rio Mutum - baía Sinhá Mariana. A vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum variou de estável a vulnerável atingindo seu máximo coeficiente de grau, em torno de 2.7, nos locais mais vulneráveis. A classe estável ocupou uma área de 3,95 km² (pouco menos de 1% da área pesquisada), moderadamente estável em 363.92 km² (12%), moderadamente estável-vulnerável em 2.225.44 km² (65%), moderadamente vulnerável em 930.56 km² (21%) e vulnerável em 6,15 km² (menos de 1%). No Planalto, a classe de vulnerabilidade à perda de solos, que ocupa a maior parte dessa unidade geomorfológica, diz respeito à classe moderadamente estável-vulnerável, espaço comumente utilizado para a prática da agricultura. Nas bordas do Planalto podem-se identificar eventuais áreas com moderada vulnerabilidade e, nos locais com maior declividade do terreno foram detectadas também áreas de moderada vulnerabilidade. Na Planície, por sua vez, a maior parte desta unidade é moderadamente estável-vulnerável, ainda que tenham sido observadas moderada vulnerabilidade e vulnerabilidade em áreas de inundação e próximas aos canais dos rios, especialmente aquelas em que o uso da terra fica no âmbito da pecuária. Os resultados da topobatimetria sugerem haver progressão do assoreamento da baía, o que pode, eventualmente, ter sido potencializado pelos usos da terra, aplicados rotineiramente na planície inundada da bacia do rio Mutum e do Planalto. Os resultados obtidos nas análises de vazão líquida e sólida e, os tipos granulométricos de fundo (silte e argila) na baía Sinhá Mariana corroboram essa indicação. A realização do zoneamento da vulnerabilidade ambiental no Pantanal e, áreas elevadas de seu entorno, pode subsidiar planos de gestão que objetivem mitigar os processos erosivos nesse tipo de sistema. Da análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum restou evidente que as perdas de solo por erosão podem se intensificar se não forem respeitadas medidas mínimas e vitais, para o manejo de uso, adequadas à realidade de cada local. As perdas de solo tanto na Planície quanto no Planalto adjacente podem contribuir decisivamente para mudanças nos sistemas fluviais em razão da sedimentação, formação de assoreamentos, assim como comprometer os diferentes usos da água e da terra nessas duas unidades geomorfológicas.

Palavras chave: Pantanal, vulnerabilidade ambiental, erosão, uso e cobertura vegetal da terra.

ABSTRACT

One of the main concerns with land uses is erosion processes, especially when they are inadequately carried out in vulnerable places, leading to environmental, social and economic problems. The uses practiced in plateau areas around the Pantanal and in Pantanal itself can have effects on floodplains where all dynamics of land use and occupation have close relations with the flood pulse. The objective of this work was to carry out the zoning of the environmental vulnerability of the Mutum river basin establishing its relations with the different uses of the land and to analyze the relationship between soil loss and sediment transport and deposition processes in Sinhá Mariana bay near mouth of the river Mutum. This basin ($16^{\circ} 22'58''$ S and $55^{\circ} 48'90''$ W) occupies the geomorphological units of the Guimarões plateau and part of the Pantanal plain of Mato Grosso. The methodology of environmental vulnerability zoning proposed by Crepani et al. (2001) adapted with the inclusion of the flood theme. For each of the six themes were established classes and assigned weights according to the potential of pedogenesis and morphogenesis, then the vulnerability synthesis map was generated. Using methods and techniques of geoprocessing in a GIS environment, the drainage network, the boundary and slope of the basin, and vulnerability maps were elaborated from the orbital images and vector data through LEGAL programming. Two topographic surveys were obtained and information was obtained on the contribution of suspended sediments, net flow estimation, total solid and granulometric types in the dry and full season, aiming at the general characterization of the Mutum - Sinhá Mariana bay system. The environmental vulnerability of the Mutum river basin ranged from stable to vulnerable reaching a maximum grade coefficient of 2.7 in the most vulnerable places. The stable class occupied an area of 3.95 km² (slightly less than 1%), moderately stable 363.92 km² (12%), moderately stable-vulnerable 2,225.44 km² (65%), moderately vulnerable 930.56 km² (21%) and vulnerable 6.15 km² (less than 1%). In the plateau the class of vulnerability to soil loss that occupies most of this geomorphological unit is the moderately stable-vulnerable class where agriculture is practiced. At the edges of the plateau can be identified areas with moderate vulnerability and in places with greater slope of the terrain there was also moderate vulnerability. In the plain, most of this unit is moderately stable-vulnerable, but moderate vulnerability and vulnerability were observed in flood areas and close to river channels, especially those where land use is cattle ranching. The results of topobathymetry suggest that there was a progression of sedimentation of the bay, which may have been potentiated due to the land uses developed in the floodplain of the Mutum and plateau basins. The results of the liquid and solid flow analyzes and the bottom granulometric types (silt and clay) of the Sinhá Mariana bay corroborate this indication. The zoning of the environmental vulnerability in the Pantanal and elevated areas of its surroundings can subsidize management plans that aim to mitigate the erosive processes in this type of system. The analysis of the environmental vulnerability of the Mutum river basin has made it evident that soil erosion losses can be intensified if the management practices are not respected. Soil losses in both the plain and adjacent plateau can contribute to changes in river systems due to sedimentation and sedimentation, as well as to compromise the different uses of water and land in these two geomorphological units.

Keywords: Pantanal, environmental vulnerability, erosion, land use and vegetation cover.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE SIGLAS	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 GEOMORFOLOGIA DO PANTANAL	22
2.2 USO E COBERTURA VEGETAL DA TERRA.....	25
2.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL	26
2.4 PROCESSOS EROSIVOS.....	32
2.5 TRANSPORTE FLUVIAL DE SEDIMENTOS	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO MUTUM.....	41
3.3 ANÁLISE DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA	45
3.4 MAPA DAS ÁREAS INUNDÁVEIS NA BACIA DO RIO MUTUM	46
3.5 MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA	47
3.6 MAPA DE DECLIVIDADE.....	51
3.7 MAPA DE TIPOS DE SOLOS.....	52
3.8 MAPA GEOLÓGICO.....	53
3.9 LOCALIZAÇÃO DAS COLETAS HIDROSSEDIMENTOMÉTRICAS	54
3.10 CARACTERIZAÇÃO TOPOBATIMÉTRICA	55
3.11 GRANULOMETRIA DO FUNDO DA BAÍA SINHA MARIANA	56
3.12 COLETA DE VAZÃO LÍQUIDA E SÓLIDA.....	57
3.13 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA	60
4.2 INUNDAÇÃO DA BACIA DO RIO MUTUM	61
4.3 USOS E COBERTURA DA TERRA.....	62
4.4 DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO MUTUM	65
4.5 VULNERABILIDADE DOS TIPOS DE SOLO.....	67
4.6 VULNERABILIDADE DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DA BACIA DO RIO MUTUM	71

4.7 VULNERABILIDADE AMBIENTAL FRENTE A PROCESSOS EROSIVOS	75
4.8 HIDROSEDIMENTAÇÃO E VULNERABILIDADE AMBIENTAL	91
5 CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bloco diagrama com a estrutura da área de estudos.....	20
Figura 2 – Bloco diagrama representando o primeiro evento da gênese e evolução do Pantanal. Fonte: Souza et al. (2006).....	22
Figura 3 – Bloco diagrama representando o segundo evento da gênese e evolução do Pantanal. Fonte: Souza et al. (2006).....	23
Figura 4 – Bloco diagrama representando o terceiro evento da gênese e evolução do Pantanal. Fonte: Souza et al. (2006).....	23
Figura 5 – Esquema com perfil transversal representando uma seção cordilheira/campo de inundação. Fonte: Souza et al. (2006).....	24
Figura 6 – Mapa de localização da área de estudos.....	38
Figura 7 – Foto do plantio direto de soja no Planalto da bacia do rio Mutum. Fonte: Santos (2013).....	39
Figura 8 – Foto da pecuária extensiva desenvolvida na planície da bacia do rio Mutum. Da autora (2015).....	40
Figura 9 – Foto da Silvicultura desenvolvida na bacia do rio Mutum. Da autora (2016).....	40
Figura 10 – Organograma com as etapas metodológicas para a construção do mapa de Vulnerabilidade Ambiental da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).....	44
Figura 11 – Mapa de localização das estações pluviométricas analisadas. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).....	46
Figura 12 – Foto demonstrando a densidade da cobertura vegetal da bacia do rio Mutum.....	48
Figura 13 – Pastagem inundada na bacia do rio Mutum. Da autora (2012).....	49
Figura 14 – Gado sobre pastagem no período de estiagem da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).....	49
Figura 15 – Área de solo exposto após queimada em área de pastagem do Planalto da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).....	50
Figura 16 – Silvicultura praticada na planície da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).....	50
Figura 17 – Mapa de localização das seções topobatimétricas (1 a 11) e pontos de coleta de sedimentos de fundo na baía Sinhá Marina e; a seção fluviométrica do rio Mutum.....	54
Figura 18 – Mapa de áreas inundáveis da bacia do rio Mutum e respectiva hipsometria da bacia. Fonte: Alves (2015) e GDEM Aster II. Org: Mello (2016).....	61
Figura 19 – Mapa de Usos e cobertura vegetal da bacia do rio Mutum e sua escala de vulnerabilidade.....	64

Figura 20 – Mapa de declividade da bacia do rio Mutum com foco nas áreas de transição Planalto/Planície e sua escala de vulnerabilidade.....	66
Figura 21 – Mapa de tipos de solo da bacia do rio Mutum com destaque para suas respectivas vulnerabilidades e estabilidade.....	70
Figura 22 – Mapa geológico e respectiva vulnerabilidade das formações localizadas na bacia do rio Mutum. Fonte: SEPLAN (2007).....	74
Figura 23 - Mapas de vulnerabilidade por tema, utilizados para o zoneamento da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.....	76
Figura 24 –Área das classes de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.....	77
Figura 25 – Mapa da vulnerabilidade ambiental da Bacia do rio Mutum frente a processos erosivos.....	78
Figura 26 – Bloco diagrama demonstrando em 3d a vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.....	81
Figura 27 – Mapa de zonas de vulnerabilidade do setor 1º Planalto dos Guimarães.....	82
Figura 28 - Mapa de zonas de vulnerabilidade do setor 2º Planície do Pantanal.....	86
Figura 29 – Mapa de zonas de vulnerabilidade do setor 3º Rio Mutum/baía Sinhá Mariana.....	88
Figura 30 – Pastagem na margem do rio Mutum.....	89
Figura 31 – Baía Sinhá Mariana. Da autora (2016).....	90
Figura 32 – Mapas topobatimétricos da baía Sinhá Mariana nos períodos de seca e cheia, em que NA refere-se ao nível da lâmina d’água, RN ao marco de referência e, as cotas de profundidade correspondem à profundidade das cotas em relação ao RN.....	93
Figura 33 - Distribuição espacial dos grãos mais finos de fundo da baía Sinhá Mariana nos períodos de seca e cheia.....	95
Figura 34 – Curva granulométrica dos sedimentos analisados na cheia, sendo que as seções que não aparecem integralizadas no gráfico não foram inseridas porque a granulometria foi 100% areia muito fina-silte-argila.....	96
Figura 35 - Curva granulométrica dos sedimentos analisados na seca, sendo que as seções que não aparecem integralizadas no gráfico não foram inseridas porque a granulometria foi 100% areia muito fina-silte-argila.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre Pedogênese e Morfogênese e seus respectivos pesos.....	42
Tabela 2 – Escala de vulnerabilidade das unidades de paisagem, conforme Crepani et al. (2001).....	43-44
Tabela 3 – Valores de vulnerabilidade conforme a intensidade pluviométrica (mm/mês), de acordo com Crepani et al. (2001).....	46
Tabela 4 – Classes de usos e cobertura do solo e seus respectivos valores de vulnerabilidade. Fonte: Crepani et al. (2001).....	51
Tabela 5 – Classes morfométricas, intervalos em porcentagem e seus respectivos valores de vulnerabilidade. Fonte: Crepani et al. (2001).....	52
Tabela 6 - Valores de vulnerabilidade dos solos. Fonte: Crepani et al. (2001).....	53
Tabela 7 – Escala de vulnerabilidade do grau de coesão das principais rochas da bacia do rio Mutum. Fonte: Crepani et al. (2001).....	53-54
Tabela 8 – Coordenadas iniciais e finais das seções implementadas (SEC) na baía Sinhá Mariana em WGS84 Zona 21S.....	55
Tabela 9 – Temas utilizados para a análise da vulnerabilidade e respectivos pesos conferidos às classes, adaptadas de Crepani et al. (2001).....	75-76
Tabela 10 – Parâmetros morfométricos da baía Sinhá Mariana, no período de seca e cheia de 2015 e 2016, respectivamente.....	93
Tabela 11 – Diâmetro das peneiras e os tipos granulométricos.....	94
Tabela 12 – Vazão líquida e sólida em suspensão do rio Mutum obtidas em 2015 e 2016, nos períodos de seca e cheia.....	97

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP – Ferramenta de apoio hierárquico à decisão

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ATTZ – Zonas de Transição Aquático Terrestre

AU – Área Úmida

BAP – Bacia do Alto Paraguai

DEM – Modelo Digital de Elevação

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEOA – Limnologia e Ecologia de Organismos Aquáticos

LSWI - Índice de Umidade na Superfície Terrestre

MNT – Modelo Numérico de Terreno

NA – Nível da água

NASA – Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

PPGEO – Programa de Pós-Graduação em Geografia

RN – Referência de Nível

SEPLAN – Secretaria de Estado e Planejamento de Mato Grosso

UTM – Universal Transversa de Mercator

SEMA – Secretária Estadual de Meio Ambiente

SIG – Sistema de Informação Geográfica

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

OLI – Operational Land Imager

TIN – Redes Irregulares de Triângulos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

MDT – Modelo Digital de Elevação

IID – Igual Incremento de Descarga

UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso

BAT – Bacia do Alto Taquari

1 INTRODUÇÃO

O estudo de bacias hidrográficas significa a pesquisa de seus elementos e interações, uma vez que sua geologia, geomorfologia, clima, água, vegetação e áreas de influência antrópica estão conectados nesse tipo de sistema (CUNHA; GUERRA, 1998). Na unidade das bacias hidrográficas os processos erosivos podem ser alterados em função da ação humana quando o uso e manejo da terra são inadequados à aptidão dos solos (RIBEIRO; TOCANTINS e FIGUEIREDO, 2013).

Para Pereira; Chávez e Silva (2012), a análise integrada dos fatores que podem alterar a dinâmica das bacias hidrográficas permite alcançar um nível superior de avaliação dos elementos que compõem o meio do Pantanal inserido na bacia do Alto Paraguai (BAP), cujas principais nascentes estão localizadas nas áreas elevadas de seu entorno, possuindo trato deposicional, megaleques fluviais e um sistema de baixa declividade com planícies fluviais que apresentam um microrelevo caracterizado principalmente por um pulso de inundação sazonal das planícies (ZANI, 2008).

Sabe-se que o principal uso da terra no Pantanal é a criação de gado por conta da possibilidade de manejo dos animais nos períodos de cheia e seca (ALVES, 2015). Já no entorno elevado do Pantanal o principal uso da terra é a agricultura em escala comercial (PARANHOS et al., 2014). Considerando que os usos da terra podem influenciar os processos erosivos tanto no Pantanal, quanto no Planalto, quando usados de forma inadequada e executados em locais vulneráveis, os impactos desses usos devem ser considerados, já que podem acarretar problemas de desequilíbrio ambiental.

O material erodido do Planalto é depositado no Pantanal e, quando lá, é levado aos rios principalmente pelo transporte hídrico no período de inundação, momento em que esta atinge as planícies fluviais, garantindo que taxas maiores de sedimentos no sistema rio/planície sejam geradas, demonstrando que o uso da terra interfere na carga sedimentar transportada na coluna d'água (SILVA et al., 2013).

Para Zani (2008), nesse contexto atual em que se vislumbra a necessidade de manejo adequado dos usos da terra, a geotecnologia e o sensoriamento remoto são excelentes ferramentas para avaliação e monitoramento dos riscos ambientais, principalmente após a disponibilização gratuita de imagens de satélite e modelos digitais de elevação que possibilitaram elucidar questões principalmente sobre grandes ecossistemas de difícil acesso como o Pantanal e, após a possibilidade de analisar conjuntos de dados de forma integrada.

Existem diversas formas e técnicas para integração de dados para a realização de avaliações ambientais, dentre elas destaca-se o zoneamento da vulnerabilidade ambiental inicialmente desenvolvido para zoneamento ambiental da Amazônia e representa o resultado da integração de técnicas específicas sobre uma metodologia (ROVANI et al., 2015).

O zoneamento da vulnerabilidade ambiental tem como base a aplicação da metodologia de Crepani et al. (1996, 2001) e, no que se refere aos valores dos atributos ambientais, embasa-se na teoria da ecodinâmica de Tricart (1977). Com o aporte dado pelas metodologias e adaptações geradas por autores posteriores que tiveram abordagens semelhantes (FUSHIMI, 2013; ROVANI et al., 2015; MOTTA; SASSAGAWA e MEDEIROS, 2015) entende-se que a ação antrópica é determinante nos fatores de elaboração do zoneamento da vulnerabilidade ambiental e deve ser incluída na ponderação de variáveis.

Sabendo-se que o zoneamento da vulnerabilidade ambiental visa expressar a relação da pedogênese e morfogênese dos elementos que integram a paisagem como geomorfologia, clima, solos, geologia, uso da terra e cobertura vegetal (GRIGIO, 2003). Pelo fato de que cada paisagem tem uma peculiaridade, esta metodologia adapta as variáveis mapeáveis da paisagem para melhor expressar a realidade da área de estudos. Entendendo isso Pereira; Chávez e Silva (2012) destacam que, pelo fato do Pantanal ser uma área úmida de pulso, a inundação determina processos bióticos e abióticos e, portanto, a inundação deve ser considerada parte dos processos erosivos, de transporte e deposição.

Desta forma considerando que os usos da terra podem estar alterando a dinâmica sedimentar do Pantanal e Planalto adjacente, quando ações antrópicas associadas a fatores naturais vulneráveis podem tornar ambientes mais vulneráveis a processos erosivos diversos, justifica-se a necessidade de se desenvolver estudos que analisem a paisagem sobre enfoque integrado já que o Pantanal é Patrimônio Mundial da Biodiversidade, com diversificados geocossistemas.

Entendendo a extensão territorial do Pantanal nesse estudo adotou-se a bacia hidrográfica do rio Mutum como unidade de estudos (Figura 1). Esta bacia está localizada na região sul de Mato Grosso e em menor escala pode demonstrar o funcionamento do Pantanal, por ocupar duas unidades geomorfológicas: o Planalto e a Planície, tendo seu fluxo d'água direcionado das nascentes no Planalto para as planícies de inundação dos rios Madeira e Asa Branca e em sequência para a planície do rio Mutum que se alarga formando a baía Sinhá Mariana.

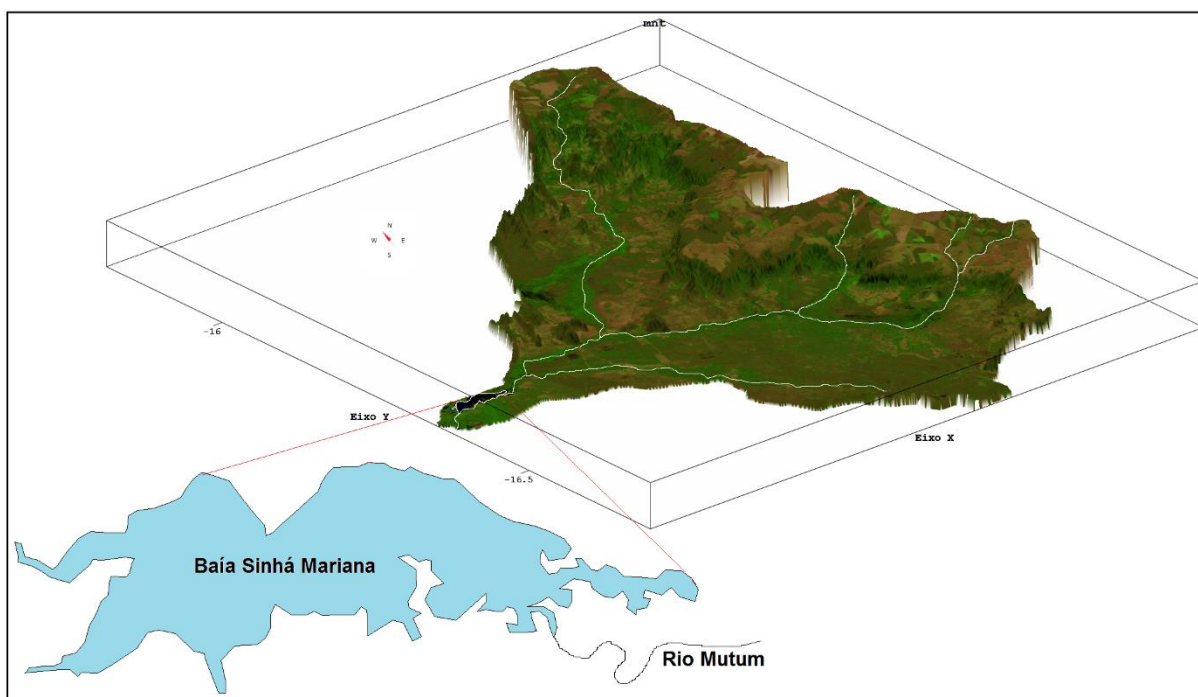


Figura 1 – Bloco diagrama com a estrutura da área de estudos.

As perguntas que esta pesquisa visa responder são:

- 1) Quais são os graus de vulnerabilidade a erosão do solo na bacia do rio Mutum?
- 2) Qual a relação dos usos da terra com a vulnerabilidade ambiental?
- 3) A morfometria da baía Sinhá Mariana indica alguma relação entre a perda de solos e a deposição de sedimentos transportados pelo rio Mutum?

Objetivo Geral

Realizar o zoneamento da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Mutum estabelecendo suas relações com os usos da terra e perdas de solo.

Objetivos Específicos

- 1- Mapear os temas declividade, uso e cobertura vegetal da terra e efetuar análise pluviométrica da região, além de compilar os temas geologia, tipos de solo e inundação que possibilite a geração de um mapa final da vulnerabilidade ambiental;
- 2- Elaborar o mapa síntese do zoneamento da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum;
- 3- Analisar a relação entre os usos da terra e os graus de vulnerabilidade ambiental nos distintos setores da bacia em estudo;
- 4- Realizar a topobatimetria da baía Sinhá Mariana para analisar a possibilidade de indícios de influência da morfometria no transporte e deposição de sedimentos;

- 5- Descrever os tipos granulométricos e sua deposição espacial no sistema rio Mutum/baía Sinhá Mariana nas épocas, seca e chuvosa;
- 6- Estimar pontualmente a carga de sedimentos transportados pelo rio Mutum.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os elementos geomorfológicos são unidades territoriais básicas que apresentam diferentes graus de vulnerabilidade, na medida em que suas formas e idades influenciam na ponderação de seus valores de grau. Esses fatores geomorfológicos quando associados a unidades territoriais valoradas como mais vulneráveis, em função do uso da terra, podem permitir o surgimento de processos erosivos diversos favorecendo a pedogênese ou a morfogênese dos solos. Entende-se assim, que vulnerabilidade ambiental é o reflexo da intersecção de polígonos distintamente valorados em graus das unidades territoriais. Desta forma quando a intersecção de polígonos com graus maiores de vulnerabilidade se sobrepõe, entende-se que esses locais são mais propensos a perda de solo por diferentes processos erosivos e, desta forma os processos sedimentares podem ser alterados, a exemplo das planícies de inundação que ocorrem normalmente sobre solos mais vulneráveis, o que em caso de perturbação antrópica, pode alterar os processos naturais do geossistema agravando problemas, tais como deposição de sedimentos nos canais dos rios (CREPANI et al., 2001).

2.1 GEOMORFOLOGIA DO PANTANAL

O Pantanal Mato-Grossense é considerado a maior planície alagada contínua do mundo, com 140.000 km² área em território brasileiro, localizado nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Encontra-se espacialmente no alto curso do rio Paraguai, com altitude entre 90 a 200m, sendo considerada uma imensa área de sedimentação e inundação, cuja fonte origina-se nos Planaltos que o circundam.

Segundo Souza et al. (2006) a gênese e evolução do Pantanal se deu em três eventos, sendo que no **1º Evento**, Origem no Cretáceo, momento em que a atual área era elevada, fornecendo sedimentos para as bacias do Cretáceo Superior, que circundam na atualidade o Pantanal (Figura 2);

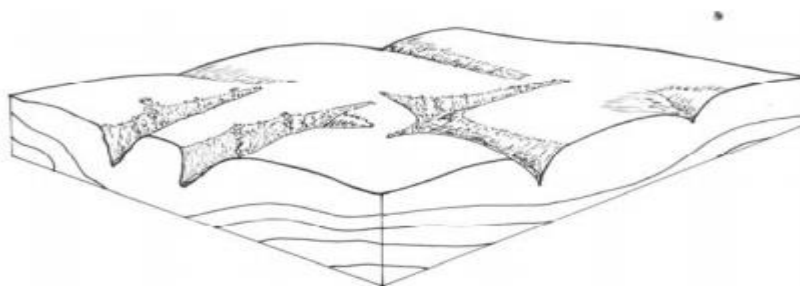


Figura 2 – Bloco diagrama representando o primeiro evento da gênese e evolução do Pantanal. Fonte: Souza et al. (2006).

Já no **2º Evento** - Final do Cretáceo, esforços tencionais relacionados ao soerguimento em blocos da plataforma brasileira, relacionados à orogênese Andina, promoveram um processo de desestabilização tectônica, dando origem a dobramentos e falhamentos (Figura 3);

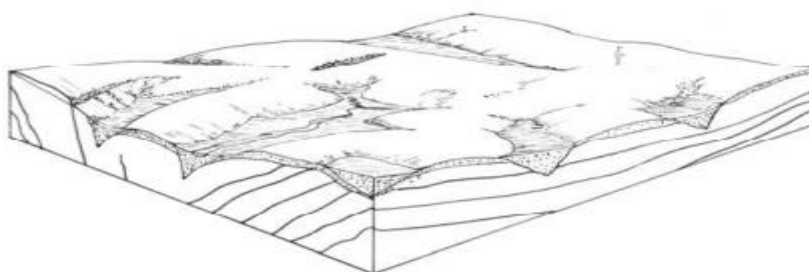


Figura 3 – Bloco diagrama representando o segundo evento da gênese e evolução do Pantanal. Fonte: Souza et al. (2006).

Por fim, no **3º Evento** – A partir da reativação da tectônica pós-Cretácica, a atual área do Pantanal passou por processos de abatimentos diferenciados, os quais associados a longos processos erosivos, originou a bacia sedimentar cenozóica do Pantanal (Figura 4).

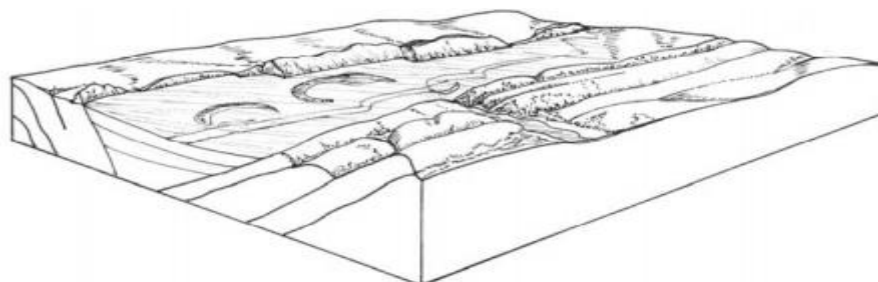


Figura 4 – Bloco diagrama representando o terceiro evento da gênese e evolução do Pantanal. Fonte: Souza et al. (2006).

No quaternário, o Pantanal adquiriu a forma de uma vasta planície aluvionar, construída por depósitos de arenitos quartzosos em leques aluviais, taludes, lateritos ferruginosos e cinturões de canais meandantes (SILVA, 2010).

Por conta de sua formação, o Pantanal pode ser classificado, quanto as suas unidades fisiográficas e, de acordo com a feição topográfica, como integrado por três unidades: Planalto 250 m – 750 m contendo as cabeceiras; Depressão, 180 m – 250 m com áreas aplainadas e algumas áreas íngremes; Pantanal, 180 m – 90 m de relevo baixo e plano sujeito ao gradiente hidráulico (CRUZ et al., 2010 apud DNOS, 1974). É importante destacar que trata-se de uma bacia sedimentar ativa, que está sendo preenchida por um amplo trato

deposicional dominado por sedimentação aluvial e por sedimentos de origem interplanáltica (ASSINE et al., 2005).

O Planalto dos Guimarães como exemplo, tem contato com o devoniano e o embasamento de granitos e xistos entre 520 – 550 metros, enquanto o nível geral desenvolveu-se, principalmente, entre 200 – 220m, atingindo 300m nas áreas mais elevadas. Nessas áreas, como na maior parte dos sopés das escarpas, os fenômenos de erosão estão muito bem marcados, independentemente de qualquer interferência de falhamento (AB’SÁBER, 2006).

Com relação às planícies de inundação, estas compreendem as planícies fluviais e flúvio-lacustres, relacionando-se, assim, ao rio Paraguai e seus afluentes (RADAMBRASIL, 1982).

Em termos de geoformas, o Pantanal apresenta três principais cordilheiras, capões e campos inundáveis (Figura 5). As cordilheiras são pequenas elevações médias, em torno de 2/3m, sobre o nível da água do campo de inundação, possuindo uma pequena declividade na interface com o campo de inundação. Os capões são morretes cobertos de vegetação, em vários tamanhos e de forma, aproximadamente, circular ou elíptica. O campo de inundação utilizado para pecuária, refere-se às partes inferiores em relação à cordilheira, cuja dinâmica de inundação está associada ao regime das cheias do Pantanal com alagamento sazonal. A inundação anual decorre do impedimento ao escoamento superficial, resultante da baixa declividade e do selamento superficial provocado pela concentração da fração silte em superfície, além da presença de lençol freático subaflorante nas baías (PONCE e CUNHA, 1993).

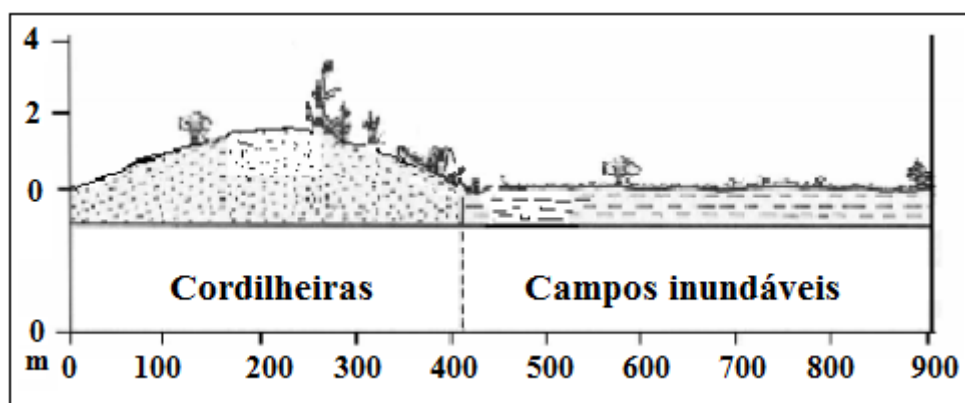


Figura 5 – Esquema com perfil transversal representando uma seção cordilheira/campo de inundação. Fonte: Souza et al. (2006).

A maior parte do Pantanal é coberta por sedimentos antigos lixiviados, de origem fluvial e lacustre, arenosos e com alto teor de alumínio, consolidado e laterítico; enquanto que ao longo dos rios, ocorrem depósitos de sedimentos recentes. Diferentes padrões de descarga do rio Paraguai e seus afluentes durante longos períodos geológicos resultaram em um mosaico de formações geomorfológicas e grande diversidade de macrohabitats dentro do Pantanal. Hoje, o Pantanal é uma Área Úmida (AU) sujeita a um pulso de inundação monomodal previsível, com uma pronunciada fase aquática e outra terrestre que se alternam anualmente. Este é o fator ecológico fundamental, a força motriz na paisagem (CUNHA et al., 2015).

2.2 USO E COBERTURA VEGETAL DA TERRA

O principal uso da terra na Planície do Pantanal é a pecuária e, em suas bordas, existe a predominância de cultura agrícola em escala comercial, sendo que a vegetação da bacia do Alto Paraguai, a qual pertence o Pantanal, é o Cerrado (PCBAP, 1987). A pecuária bovina é principalmente extensiva, sem impedimento de pastoreio e com introdução de espécies de forrageiras exóticas, visando o aumento da produtividade. A segunda atividade econômica desenvolvida principalmente nos Planaltos é a agricultura de soja, milho e cana de açúcar principalmente nas áreas elevadas de seu entorno (MANETA e CARMO, 2010; ALVES, 2015).

No Pantanal também se pratica atividade turística e de pesca, o que vem retirando cobertura vegetal das margens dos rios para construção de pontos de pesca e atracadores de barcos de turismo. Isto tem contribuído para a perda de solos nos barrancos dos rios do Pantanal e aumentado a sedimentação e assoreamento dos leitos d'água (LEANDRO; SOUZA e NASCIMENTO, 2014).

Destaque-se que a cobertura vegetal do Pantanal firma-se sobre o bioma Cerrado e suas variações savana gramíneo, cerradão e, cerrado stricto sensu. Nas sub-regiões de Cáceres, Barão de Melgaço, Nhecolândia, Aquidauana e Miranda, as formações vegetais são: floresta estacional semidecidual aluvial (mata galeria), floresta estacional semidecidual de terras baixas (mata semidecídua), savana florestada (cerrado, babaçual), savana parque (paratidal, canjiqueira), savana gramínea lenhosa (campo inundado, campo seco), savana estépica florestadas (chaco), savana estépica parque (carandazal) e sistema edáfico de primeira ocupação, formações pioneiras, vegetação com influência fluvial/lacustre como o buritizal, cambarazal, pirizal, caetezal, baceiro ou batume, brejo (SILVA et al., 2000).

De acordo com Paranhos et al. (2014) ao analisarem a variação da cobertura da terra no Pantanal de 2003 a 2010 concluiu-se que a savana arbórea-arbustiva ocupava um total 59% da área do Pantanal e, em 2010 esse total passou para 42%. Essa diferença de cobertura se deve ao aumento da savana gramínea muito utilizada na região para a pecuária, concomitante ao crescimento do rebanho pantaneiro.

A dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no Pantanal estão ligados a variação do nível fluviométrico dos rios, portanto, áreas alagadas são inerentes a paisagem da região. Na parte Sul do Pantanal o alagamento ocorre em momentos em que a parte Norte já não está mais inundada, existindo um tempo de diferença da inundação entre essas unidades. Desta forma, destaca-se que anualmente as pastagens e a vegetação seca ocorrem primeiramente no Norte do Pantanal (SANTOS et al., 2009).

2.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

De modo geral, existem duas propostas para análise das paisagens brasileiras, integrando dados geográficos que visam expressar a sensibilidade, ou estabilidade dos ambientes sendo que, a vulnerabilidade ambiental e a fragilidade ambiental são propostas distintas, mas que se baseiam no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977). Na metodologia de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), os aspectos físicos como a geomorfologia e os níveis taxonômicos recebem pesos maiores de importância dentro da equação de fragilidade que sintetiza as informações geográficas. No zoneamento da vulnerabilidade ambiental proposto por Crepani et al. (1996) e atualizado por Crepani et al. (2001), todos os dados inclusos em um estudo de variáveis integradas têm o mesmo peso, possibilitando refletir a relação de equilíbrio ou desequilíbrio entre as variáveis ambientais. Ambas as metodologias têm pontos positivos e negativos e, neste caso, a escolha de uma ou de outra metodologia de análise deve de ser feita considerando-se a que melhor expresse a realidade da paisagem da área de estudo (GOMES, 2013).

Dentro da abordagem metodológica da vulnerabilidade ambiental elaborada por Crepani et al. (2001), os autores destacam a integração de dados sobre uma determinada imagem, para que possa ser interpretada e, desta forma, as unidades territoriais básicas de um zoneamento ecológico-econômico podem ser divididas em duas categorias: "unidades de paisagem natural" e "polígonos de ação antrópica". As unidades de paisagem natural são definidas sobre as imagens a partir da interpretação dos seus elementos básicos: elementos de

textura, relevo, drenagem, e tonalidades de cinza ou matizes de cores. Os polígonos de ação antrópica correspondem às feições decorrentes da intervenção humana na paisagem, manifestada na forma de alterações na tonalidade de cinza ou matizes de cores, dentro de padrões característicos. A integração dos dados disponíveis é feita segundo um modelo que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0). Cabe destacar que para a obtenção desses parâmetros, a partir das cartas topográficas, é necessário que a escala das cartas seja igual ou maior que a de 1:100.000. Entretanto, é patente que em muitas regiões, principalmente na Amazônia, não há disponibilidade de cartas topográficas nesta escala. Nestes casos, a literatura destaca que é possível inferir as classes morfométricas com base nas referências disponíveis, na análise da textura de imagens de sensoriamento remoto e no conhecimento de campo dos técnicos envolvidos no projeto de zoneamento.

Essa metodologia que visa analisar a vulnerabilidade ambiental e perda de solos foi pensada e desenvolvida para aplicação na região Amazônica, em zonas de baixa declividade e caracterizadas por um pulso de inundação. Pulso de inundação esse, que segundo Cunha et al. (2015) caracteriza as grandes AUs brasileiras que cobrem áreas de dezenas de milhares de quilômetros quadrados, e são compostas de diferentes unidades geomorfológicas e vegetacionais. Todas são sistemas de pulsos de inundação previsíveis e sujeitas a inundações periódicas de acordo com as épocas chuvosas e secas nas suas bacias hidrográficas. As AUs, ao longo dos grandes rios, como as várzeas na Amazônia, são sujeitas a inundações profundas, aquelas de interflúvios e deltas internos a inundações rasas, condição similar ao Pantanal Matogrossense e nas AUs dos rios Guaporé e Araguaia. Nesse sentido, originalmente o zoneamento da vulnerabilidade à perda de solos foi pensado para análise de uma planície de inundação e suas áreas de entorno, o que justifica sua aplicação no Pantanal.

Muito embora esta seja uma metodologia criada para análise de longas extensões com presença de planícies, apenas dois trabalhos com este enfoque foram realizados no Pantanal, porém não tratam da vulnerabilidade ambiental como uma proposta semelhante à de Crepani et al. (2001).

O primeiro foi realizado por Pereira; Chaves e Maria (2012) objetivando elaborar um mapa de unidades de paisagem e, um modelo de ocupação e uso para o Bioma Pantanal,

utilizando-se de dados provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) correspondentes às informações de unidades morfométricas de relevo, geologia, solos e potencial agrícola; o mapa de uso e cobertura da terra, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e: os mapas de áreas alagadas do bioma Pantanal e de variabilidade espacial das inundações. A partir do cruzamento entre as variáveis de altimetria, declividade, mapa de variabilidade espacial e geologia, foram identificadas 16 unidades de paisagem. Este estudo mostrou que grande parte do Pantanal apresenta uma média fragilidade ambiental, localizada principalmente na região de deposição aluvial do leque do Rio Taquari e, em planícies não inundáveis com altitude entre 50 e 250 metros.

O segundo trabalho foi realizado por Duarte Junior e Santos (2014) que, num estudo introdutório sobre o zoneamento da sensibilidade/vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Cuiabá no Estado de Mato Grosso, utilizaram na metodologia os mapas de unidades de paisagem hidrográficas feito por meio do pré-processador NGFlow disponível no SIG ArcGis 9.3® e de unidades de paisagem como relevo, declividade, clima e sistema de drenagem, por meio de imagens de satélites e dados secundários. Para obtenção de um Modelo Numérico de Terreno (MNT) hidrologicamente correto, foi imposta ao MNT original a rede hidrográfica digitalizada (linhas simples, 1:250.000), proveniente da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA-MT). Foram extraídas um total de 305 sub-bacias dentro da bacia principal, com tamanhos que variaram de 2 e 1086 km², com área mediana de 192 km². O MNT também foi utilizado para cálculo automatizado da declividade diferenciada em cinco classes: 0 a 2%; 2 a 5%; 6 a 12% e; 12 a 30% e > 30%. Os resultados encontrados indicaram que as sub-bacias da bacia do rio Cuiabá apresentaram moderada, alta e muito alta sensibilidade por todos os estressores estudados. Já a vulnerabilidade estudada apresentou graus mais elevados de vulnerabilidade à pastagem, pontes e rodovias e locais que sofrem inundação, como também, as pastagens apresentam-se com alta sensibilidade e, muito alta sensibilidade, em áreas de planaltos e morros ocupando as cabeceiras das sub-bacias.

No sentido de compreender o funcionamento das paisagens que passam por inundação buscou-se trabalhos sobre vulnerabilidade, desenvolvidos em locais com condição semelhantes. Assim a exemplo dos ambientes estuarinos, Silva et al. (2013) abordou o rio Curimataú/Cunhaú cujas feições geomorfológicas são tabuleiros costeiros, planície flúvio-marinha, planície fluvial, dunas fixas ou moveis e faixa praial. Desta forma, o ambiente desse estuário apresenta uma vasta planície de inundação com presença de manguezais. Com os resultados obtidos observou-se que os locais com maior vulnerabilidade se referem as planícies fluviais, por conta da união de solos encharcados cuja vegetação natural foi retirada

para a introdução de carcinicultura. Os locais com estabilidade mediana foram os tabuleiros costeiros em regiões com argissolos vermelho amarelo distrófico e areais quartzosos, que permitiram um zoneamento de locais estáveis pela combinação dos demais fatores naturais. Foram considerados estáveis a partir da constatação de que a vegetação natural estava preservada, ainda que próximas a zonas de declive.

Com relação aos demais trabalhos revisados sobre vulnerabilidade destaca-se que todos apresentam modificações nas variáveis mapeáveis, sobre vulnerabilidade ambiental e perda de solos, a exemplo de imagens mais recentes, cartas mais atuais e introdução de temas sociais, como renda ou mapeamento de características únicas que definem suas áreas de estudo.

Tagliani (2003), que analisou a Planície Costeira do Rio Grande do Sul, uma das quatro províncias morfológicas do Estado do Rio Grande do Sul, ocupando uma faixa adjacente ao Oceano Atlântico, com 650 km de extensão, por cerca de 70km de largura média. Foram utilizados os dados de declividade para áreas mais elevadas e locais de transição geomorfológica e, para as áreas de fraca declividade foi considerado que os outros fatores teriam mais influência sobre a vulnerabilidade, já que a declividade foi considerada estável, portanto com menor importância nessas localidades. Além da declividade foram utilizados os dados de geologia, uso e cobertura vegetal do solo, além de mapa de capacidade dos usos do solo. Para a análise desses dados utilizou-se a ferramenta de AHP (Apoio Hierárquico à Decisão) do SIG Spring®. Como resultado, obteve-se que na planície os fatores que mais influenciaram em sua estabilidade foram os tipos de solo principalmente os hidromórficos, quando associados a intervenções humanas e, nos locais de maior altimetria o fator de principal relevância foi a declividade associada à intervenção humana.

Melo e Santos (2010), para avaliar a vulnerabilidade ambiental utilizaram os mapas de geomorfologia, tipos de solo, uso e cobertura vegetal do solo, geologia e clima da bacia do rio Baiano em, Assis Chateaubriand no Paraná. A vulnerabilidade mais elevada foi identificada nos locais onde os solos apresentavam-se muito friáveis, como Gleissolos ou solos pouco espessos como Cambissolos. Neste caso o uso da terra também influenciou de maneira significativa, principalmente pela ocorrência de cicatrizes de exploração de basalto. As áreas de forte vulnerabilidade ocorreram onde a declividade das vertentes passou dos 20% com solos Gleissolos ou pouco espessos. Neste caso o uso da terra também influenciou de maneira significativa, na medida em que localizaram-se cicatrizes de exploração de basalto em função do trabalho com o gado. Já as áreas mais estáveis foram as de baixa declividade nas vertentes,

dispostas em solos estáveis e cobertura vegetal/uso da terra formada por fragmentos de floresta, em sua maioria.

Fushimi (2013) utilizou para avaliar a vulnerabilidade ambiental a processos erosivos lineares do município de Presidente Prudente município do Estado de São Paulo os mapas de Geomorfologia, clinográfica, classes de solos e uso da terra e cobertura vegetal. Para sintetizar e relacionar os temas foi usada a ferramenta de apoio “Suporte à Decisão AHP (Processo Analítico Hierárquico) ”, cuja finalidade é organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Os atributos geomorfologia, climografia, classes de solos, uso da terra e cobertura vegetal foram analisados e comparados dois a dois, de acordo com a escala pré-definida pelo programa, onde valor 1 é atribuído quando os dois fatores possuem o mesmo nível de importância. No valor 9, um fator é extremamente mais importante que o outro. Optou-se pelo valor intermediário 2, para que a razão de consistência esteja próxima de 0,1, índice aconselhável pelos especialistas em AHP. Como resultado, foi gerada uma base de programação em linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) no formato do Spring®, em seguida, editada no Bloco de Notas (formato “.txt”), onde se atribuíram valores entre 0.0 a 1.0 para as classes temáticas das variáveis. Quanto maior a vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares, mais próximo de 1.0. O procedimento final consistiu no fatiamento MNT (Modelo Numérico de Terreno), onde foram estabelecidas as classes temáticas (baixa, média, alta e muito alta vulnerabilidade). A autora concluiu que a baixa vulnerabilidade ocorreu nas planícies aluviais, com declividades inferiores a 5%, solos mais desenvolvidos e cobertura vegetal por mata. A média vulnerabilidade ocorreu nos locais com topos suavemente ondulados, declividade de 5% a 10%, presença de latossolos, plantação de cana de açúcar a algumas áreas urbanizadas; a alta vulnerabilidade foi registrada no domínio das vertentes côncavas, declividade de 10 a 20%, solos rasos a desenvolvidos, solo exposto para posterior plantio de cana de açúcar; e muito alta vulnerabilidade no domínio das vertentes côncavas e declividade acima de 20%, solos rasos e uso de pastagem e cobertura vegetal de gramínea.

Silva Neto e Aleixo (2013), por sua vez, executou a análise da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Salobra localizado em Mato Grosso do Sul em uma região de vales encaixados. O objetivo deste estudo foi definir a vulnerabilidade das formas do terreno à perda de solos, avaliando as características morfológicas das curvaturas vertical e horizontal das vertentes e das formas do terreno. A partir da análise das vertentes estabeleceu-se uma relação direta com os processos erosivos, no qual se utilizou dados geomorfométricos,

derivados de processamentos efetuados em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), como curvatura horizontal, curvatura vertical e formas do terreno. Por fim, para definição das classes de vulnerabilidade da paisagem à perda de solos, avaliou-se que os fluxos de água concentram-se e aumentam encosta abaixo, ou seja, às partes inferiores das encostas, considerando, os segmentos côncavos, com maior capacidade de transporte de sedimentos. Assim, o processamento dos dados SRTM-TOPODATA, que resultaram nos mapas temáticos, efetivou-se com a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) implementados no Spring®. Os resultados sobre as formas do terreno, apesar de serem atributos qualitativos foram passíveis de ponderação, considerando-se que as dinâmicas e intensidades dos processos erosivos estão diretamente ligadas às formas do terreno e aos formatos das vertentes, tanto na análise do formato do seu perfil, côncavo, retilíneo e convexo, quanto na análise do direcionamento dos fluxos de escoamento da água, convergente, planar e divergente. Nesse sentido, segundo o autor foi possível atribuir a partir das formas das vertentes e do terreno uma ponderação coerente, que pode ser utilizada como uma variável na análise da vulnerabilidade da paisagem à perda de solos.

Rovani et al. (2015) por sua vez, estudou a vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Barão de Cotegipe, RS. Para tanto, foi criado um banco de dados espaciais em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas com auxílio do SIG Spring® versão 5.0.6. O mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo foi elaborado com base nas informações referentes à geomorfologia, geologia, solos, vegetação e uso e ocupação da terra, de acordo com o grau de vulnerabilidade de cada informação, por meio da álgebra de mapas. As unidades estáveis foram caracterizadas pelo predomínio dos processos formadores do solo; nas unidades moderadamente vulneráveis prevaleceram os processos erosivos. Para as unidades em que predominou a vulnerabilidade natural, os autores sugeriram especial atenção em relação ao meio natural e aos agentes que o influenciam, visando boas práticas sociais associadas às políticas ambientais no processo de tomada de decisões econômicas, possibilitando a valorização e proteção do meio.

Motta; Sassagawa e Medeiros (2015), tiveram como área de estudos o município de Assis no Acre, onde foram considerados os mapas de geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura vegetal. Os resultados obtidos apontaram principalmente para a vulnerabilidade ambiental próxima aos cursos d'água já que esses locais apresentaram maior entalhamento e tipos de solos mais frágeis.

Milanezi e Pereira (2016), apontaram que os usos do solo são os principais responsáveis por agravos ambientais nos corpos hídricos e através da avaliação da vulnerabilidade apontaram quais fatores são responsáveis pela vulnerabilidade na micro bacia do Córrego Azul, em Ivinhema, Mato Grosso do Sul. Foram empregadas técnicas de geoprocessamento juntamente com processos do sensoriamento remoto e dados secundários de mapeamentos para caracterizar os componentes geoambientais de uso do terra e geologia, os quais foram empregados como variáveis na avaliação da vulnerabilidade na micro bacia. A integração das variáveis foi realizada com a aplicação de álgebra de mapas por meio da programação LEGAL, disponível no aplicativo Spring 5.2.1®, o que possibilita classificar e quantificar a variação da vulnerabilidade no interior da micro bacia. Isso permitiu identificar os fatores geoambientais que mais influenciam a vulnerabilidade de cada classe. Como resultado, verificou-se que as áreas de alta vulnerabilidade ambiental correspondiam a 12,65% da micro bacia, enquanto a média vulnerabilidade ambiental cerca de 74,33% e, as áreas de baixa vulnerabilidade a 13,01%. Os locais com alta vulnerabilidade compreendem as áreas representadas pelos fundos de vale, áreas úmidas e áreas de preservação permanentes. O predomínio dessas áreas sobre solos de textura arenosa, principalmente quando associado a declividades mais acentuadas e de maior concentração de escoamento superficial contribui para a atuação de processos morfodinâmicos mais intensos, tornando-as suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos intensos.

2.4 PROCESSOS EROSIVOS

Visando analisar os processos erosivos, destaca-se que as taxas erosivas nas áreas rurais tendem a aumentar, em frequência e magnitude, em terrenos deixados descobertos durante parte do ano (GUERRA; MENDONÇA, 2004).

Os solos submetidos à agricultura altamente mecanizada, por um período prolongado, também estão vulneráveis aos processos de erosão, principalmente lineares. O declínio de matéria orgânica nos horizontes superficiais do perfil pedológico proporciona a formação de crostas, o que dificulta a infiltração e incrementa o escoamento superficial (CUNHA e GUERRA, 1998).

Segundo Guerra e Guerra (1997), a erosão ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção de partículas e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. O processo de erosão que mais se observa em ambientes tropicais é a erosão hídrica,

definida por Farias (1984), como o processo de desagregação e transporte das partículas do solo pela ação das chuvas.

Existem diferentes formas da erosão se manifestar. A erosão laminar se caracteriza por escoamento superficial da água e se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais. A erosão em ravinas é formada quando a velocidade do fluxo de água aumenta na encosta, tornando o fluxo turbulento, não raro inexistindo conexão com a rede de drenagem. A erosão em voçorocas pode ocorrer a partir da formação de túneis na subsuperfície com posterior colapso da superfície situada acima ou, a partir do alargamento e aprofundamento de uma ravina na medida em que esta evolui para um canal de água permanente (GUERRA e GUERRA, 1997).

Segundo Filizola et al. (2003), com o incremento da pecuária e agricultura a partir da década de 70 os processos erosivos lineares, em especial os de grande porte, têm aumentado de maneira considerável nos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás. Segundo os autores, a presença de sulcos, ravinas e voçorocas é observada em todo o sul, sudeste e centro-oeste do Brasil e geralmente estão associados ao uso do solo, ao substrato geológico, ao tipo de solo, às características climáticas, hidrológicas e ao relevo. Os autores chamam a atenção para a presença, na região de recarga do Aquífero Guarani na parte centro-oeste do Brasil, de solos arenosos, desenvolvidos sobre as Formações Botucatu e Piramboia, de estabilidade baixa e que, quando usados sem os devidos cuidados, possibilitam a instalação rápida de processos erosivos.

Nesse sentido os trabalhos com imagens orbitais e técnicas de mapeamento para Ribeiro; Tocantins e Figueiredo (2013) que, visam realizar diagnósticos sobre processos erosivos, são hoje ferramentas para apontar principalmente os locais com maior propensão à instalação de processos erosivos em função da combinação de agentes de pressão antrópica e naturais que podem, ou não, ser vulneráveis em sua formação em relação a outros meios mais estáveis.

2.5 TRANSPORTE FLUVIAL DE SEDIMENTOS

O processo de sedimentação dentro dos sistemas aquáticos de água doce ocorre principalmente pelo transporte de sedimentos em suspensão na coluna d'água. Esse transporte é resultado dos processos de deslocamento da água dentro do rio, nas margens e nas planícies de inundação (BARTELI, 2012). A quantidade de sedimentos transportada por um rio também é diretamente influenciada pelos usos do solo existentes em sua proximidade, pelas

composições dos leitos e pelas características hidráulicas de cada bacia hidrográfica (CARVALHO, 2008).

A área da ciência que estuda estes processos é a hidrossedimentologia, que quantifica os sedimentos transportados pelos cursos d'água por meios de técnicas sedimentimétricas de coleta, transporte, armazenamento e análise de amostras de sólidos suspensos contidos em líquidos e ou amostragens de sedimento depositados no leito dos rios (Carvalho, 1994).

Existem dois tipos de transporte de sólidos em suspensão correspondente a carga de lavagem do solo da bacia hidrográfica e um correspondente ao transporte do material que compõe o próprio leito do rio. No caso, os sedimentos mais finos se mantêm em suspensão e os sedimentos maiores tendem a ser depositados (CABRAL, 2004).

Destaca-se, a importância de estudar a hidrossedimentação dos rios brasileiros, já que o país possui uma das maiores redes fluviais do mundo. Assim, sugere-se que o monitoramento dos rios deve incluir: o acompanhamento do nível da água, batimetrias, descarga líquida e sólida, parâmetros de qualidade da água, profundidade média dos rios e lagoas (CARVALHO et al., 2000).

Macedo (2013), ao estudar a hidrossedimentação da planície do rio Paraguai, da lagoa Vermelha até a confluência do rio Miranda concluiu que existem evidências suficientes para indicar a rápida e forte mudança ambiental do rio Paraguai principalmente por conta do fenômeno de avulsão, padrão fluvial e abandono de meandros. Além disso, as características hidrossedimentológicas do rio Paraguai mostraram que há uma complexa relação do rio com sua planície que age como reservatórios decorrentes das cheias, o que resulta em descargas fluviais mais altas mesmo após o período de chuvas.

No rio Paraguai é possível ainda identificar que os sedimentos são removidos com facilidade principalmente no período das cheias, acumulando-se em outros locais da planície e do canal, contribuindo para as mudanças no sistema fluvial, na medida em que as características da calha, ao longo do perfil longitudinal do rio Paraguai, como referência, são influenciadas pelos elementos ambientais e volume de água, variando de acordo com a sazonalidade (cheia ou seca), tamanho e peso dos sedimentos transportados e depositados, declividade e velocidade de fluxo do rio e atividades antrópicas (LEANDRO e SOUZA, 2012).

No estudo realizado por Zanela (2016) na bacia hidrográfica do rio Sucuriúno, Mato Grosso do Sul, afim de criar uma proposta de mitigação do assoreamento do rio registrou-se que a perda de solo dessa bacia é de 2.392.353 mg ano⁻¹ (Software VEST) e de 1.062.402 mg ano⁻¹ (Software SWAT), essa diferença de valores foi explicada pela peculiaridade de decisão do algoritmo de cada software. Por fim, fez-se a simulação do (software VEST) do cenário futuro com a recomposição vegetal de 13,78 km² das áreas de preservação permanente desta bacia e constatou-se que seria possível após a recuperação da vegetação reduzir a produção de sedimentos de 6.464,99 mg ano⁻¹. Isto demonstra que o uso e ocupação do solo influenciam muito na deposição de sedimentos dentro dos sistemas aquáticos.

A dinâmica hidrossedimentar de um rio também deve ser considerada da perspectiva de ajuste à uma nova situação, como por exemplo, uma intervenção antrópica que pode mascarar outros fatores que influenciariam numa mudança do sistema fluvial, como alterações das condições climáticas regionais, que modificam o índice de pluviosidade e vegetação da bacia hidrográfica. Por isso, não podemos apontar um único fator como responsável para mudanças de um rio, mas devemos considerar fatores múltiplos que de fato reflitam a realidade específica de cada área de estudo (SANTO e STEVAUX, 2010). Os usos do solo nesse sentido, podem alterar a dinâmica de descarga sedimentar. Há, no entanto, uma descontinuidade de dados e estudos sobre a descarga fluvial e transporte de sedimentos no Pantanal, mesmo assim, os estudos já apontam para a necessidade de monitoramentos, especialmente do transporte de leito, sendo que nunca foi monitorado de forma metódica e continua no Pantanal (SOUZA Filho, 2013).

Os rios são influenciados pelo ambiente terrestre, o que os tornam vulneráveis as atividades antrópicas, principalmente em áreas de Cerrado com intensa modificação causada pelo uso da terra. Segundo Machado et al. (2013) em sua pesquisa realizada na bacia do rio Cuiabá houve correlação positiva (p-valor < 0,05) entre oxigênio dissolvido e solo exposto (46,1%); oxigênio dissolvido e folha (39,6%); pH e pastagem (44,2%); velocidade e largura do canal (52,6%); largura do canal e agricultura (40,3%); largura do canal e cascalho (47,3%); mata ciliar e folha (48,2%); vegetação nativa e silte (47,8%); agricultura e cascalho (37,8); raiz e areia (39,2%); tronco e areia (37,7%); matacão e silte (41,3%). Os atributos físicos do canal e os químicos da água dos rios de cabeceira da bacia do rio Cuiabá foram afetados direta e indiretamente pelas atividades agropecuárias. O solo exposto das áreas adjacentes e a declividade do relevo em rios de cabeceira contribuíram para aumentar a velocidade da água via escoamento superficial, provocando erosão e aumento na largura do canal dos rios.

Estudos como estes reforçam a necessidade de se analisar a relação existente entre os usos da terra e as perdas de solo por erosão, levando em consideração que dentro de uma bacia hidrográfica há distintos graus de vulnerabilidade ambiental e que as perdas por erosão podem ser intensificadas se não forem respeitadas as medidas de manejo adequadas a realidade de cada local. Por fim, as perdas de solo podem contribuir para mudanças nos sistemas fluviais devido a sedimentação que acarreta assoreamentos e comprometem os diferentes usos múltiplos da água, requeridos pela sociedade, mas principalmente no que diz respeito à interferência na sobrevivência da biota aquática.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia do rio Mutum que tem 3530km² de área total, situada sobre as unidades administrativas dos municípios de Santo Antônio do Leverger e Barão de Melgaço, localizada entre as coordenadas 16°22'58"S e 55°48'90"O, situada a 87 km de Cuiabá capital do Estado de Mato Grosso.

A bacia do rio Mutum inserida no contexto da bacia do Alto Paraguai ocupa parte de duas unidades geomorfológicas, a Planície do Pantanal e o Planalto dos Guimarães sendo que as partes mais elevadas (Planaltos) encontram-se inseridas na porção nordeste com elevações superiores a 700 metros, e as menores cotas (planície) na porção sudoeste e oeste inferiores a 200 metros (ALVES, 2015).

Trata-se de uma sub-bacia afluente da bacia do rio Cuiabá. Seus principais formadores são os rios Asa branca no sentido Norte/Sul, Madeira no sentido Leste/Oeste e Corixo Grande no sentido Sudeste/Oeste. Todos os rios formadores da bacia do rio Mutum tem seu fluxo direcionado para a baía Sinhá Mariana a Oeste, que corresponde ao alargamento do rio Mutum, já próximo à foz com o rio Cuiabá (Figura 6).

A baía Sinhá Mariana é um lago perene do Pantanal e está permanentemente conectada ao rio Cuiabá e à baía de Chacororé. através de corichos e constitui-se num alargamento do rio Mutum, possuindo águas pretas, formato alongado, comprimento máximo, 8,75km, largura máxima, 2,67km, largura média, 1,29km, profundidade máxima, 4,75m, profundidade média, 3,58m, área 11,25 km² (NUNES e SILVA, 2009).

Esse sistema de conexão entre rio Mutum, baía Sinhá Mariana e baía de Chacororé cria na baía Sinhá Mariana uma confluência de águas de colorações distintas, A água oriunda da baía de Chacororé é predominantemente turbida, Já a água que vem do rio Mutum é predominantemente clara, deste modo a baía Sinhá Mariana tem um gradiente de turbidez a leste (clara) e outro a oeste (turbida) (MELLO; ALVES e OLIVEIRA, 2016), porém no período de chuvas as águas da baía Sinhá Mariana podem adquirir maior turbidez no lado leste (claro), já que o rio passa a carrear mais sólidos em suspensão (MELLO e SANTOS, 2014).

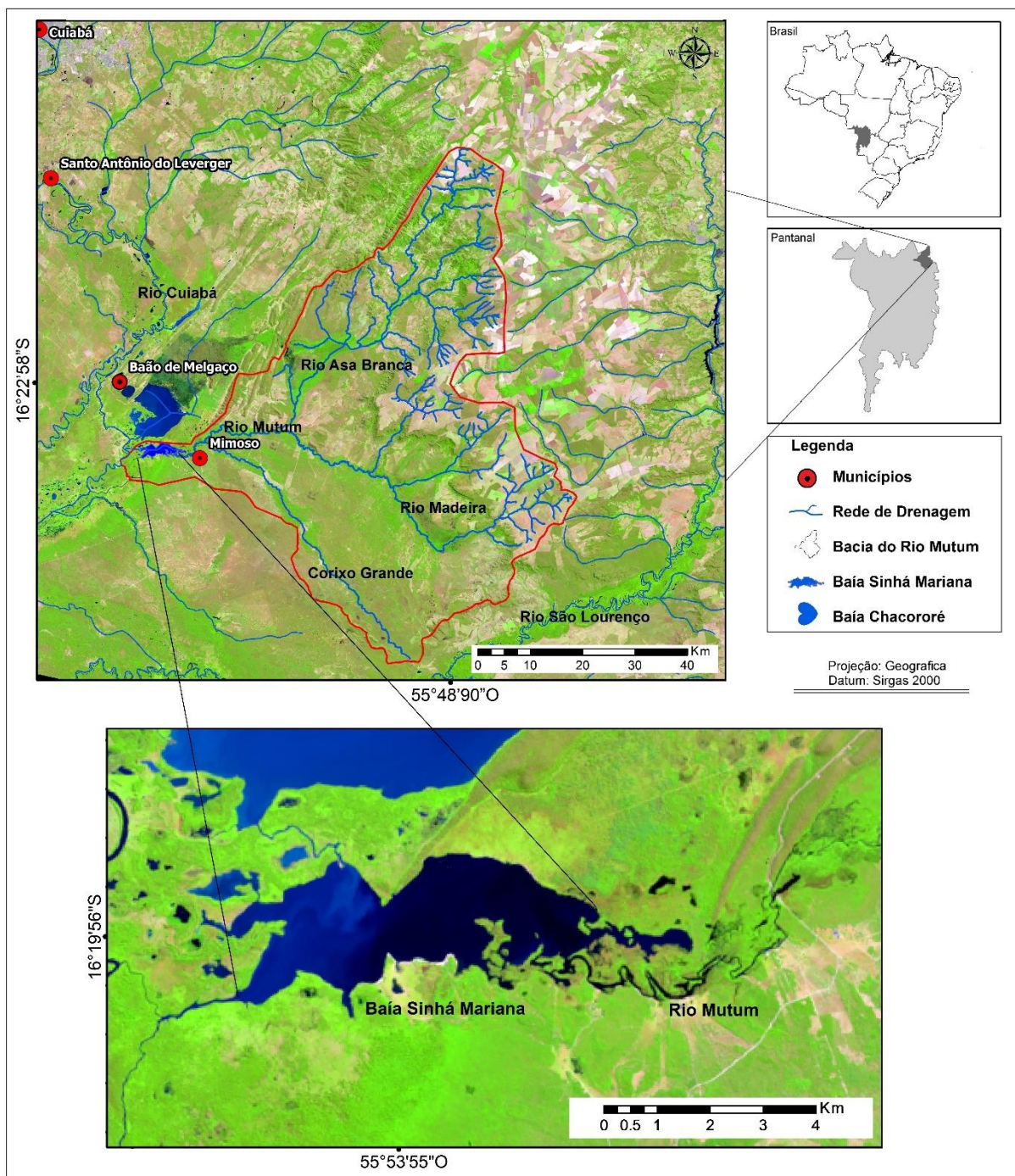


Figura 6 – Mapa de localização da área de estudos.

Na classificação de Padovani (2010), a bacia do rio Mutum está inserida na sub-região do Pantanal denominada de Chacororé, que se difere das demais por conta do tempo de inundação, pois recebe águas de pequenas bacias hidrográficas que são independentes das grandes bacias. Dessa forma, por serem pequenas e sujeitas a um regime de grandes volumes de precipitação, respondem rapidamente inundando mais cedo e por menor tempo em alguns casos. Essa sub-região apresenta uma geomorfologia formada principalmente por bacias hidrográficas que tem suas nascentes principais localizadas no Planalto e, cujo

direcionamento das águas, é definido principalmente por morros alongados e alinhados fazendo com que a água seja direcionada de nordeste para sudeste formando grandes canais de água e grandes baías como a de Chacororé e a Sinhá Mariana.

O clima do Pantanal é classificado como tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco, o que confere à região uma característica peculiar que pode ser dividida em período de cheia, período de seca e período de vazante. O clima quente e úmido no verão se estabelece com temperatura média de 25°C (mínima de 15°C e máxima de 34°C) e, a umidade relativa média apresentando-se em torno de 82%. No inverno, devido às massas de ar provenientes do Sul, entre outras variáveis, a temperatura cai drasticamente, podendo chegar a menos de 10°C entre os meses de abril e setembro. Entretanto, a umidade do ar permanece alta devido à evapotranspiração decorrente da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas. Assim como a vegetação influencia o clima da região, o regime de chuvas e os períodos secos que ocorrem na planície pantaneira também são decisivos para o desempenho da maioria das espécies vegetais. Assim, as espécies conseguem manter-se distribuídas pelos diferentes pontos da planície exibindo características próprias que são fundamentais para o equilíbrio do ecossistema (CUNHA et al., 2015).

Os tipos de uso e cobertura vegetal da terra da bacia do rio Mutum, são definidos conforme as características geomorfológicas e pulso de inundação da bacia. Para Santos; Marquezola e Mello (2014) os principais usos do solo da bacia do rio Mutum são agricultura intensiva sobre plantio direto no Planalto dos Guimarães (Figura 7) e pecuária extensiva no Pantanal (Figura 8), com locais de silvicultura em ambas as unidades geomorfológicas (Figura 9).



Figura 7 – Foto do plantio direto de soja no Planalto da bacia do rio Mutum. Fonte: Santos (2013).



Figura 8 – Foto da pecuária extensiva desenvolvida na planície da bacia do rio Mutum. Da autora (2015).



Figura 9 – Foto da Silvicultura desenvolvida na bacia do rio Mutum. Da autora (2016).

Para Alves (2015), o movimento das águas nessa região hidrográfica do Pantanal cria paisagens vegetacionais diferentes no decorrer do tempo e espaço, obrigando os pecuaristas a se adaptarem as diversidades surgidas nos períodos de águas altas e baixas, já que grande parte da economia dessa região é sustentada pela pecuária. Para Mello; Alves e Oliveira (2016), entre os usos da terra desenvolvidos na bacia do rio Mutum, o principal em áreas de inundação é a pecuária, e a cobertura vegetal da bacia se divide em Floresta Estacional Semidecidual aluvial, savana florestada e savana gramínea, encontradas principalmente no correr dos cursos d'água e áreas de inundação, bem como em áreas de escarpa.

3.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO MUTUM

A metodologia do zoneamento da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum é uma proposta adaptada de Crepani et al. (2001). Na metodologia original são considerados os elementos clima, geologia, geomorfologia, tipos de solo e cobertura vegetal, analisados sobre uma média simples. As primeiras adaptações propuseram que o tema de cobertura vegetal, ainda que temporária, fosse também determinada como de uso da terra, assim ter-se-ia um mapa de uso e cobertura vegetal da terra mais real.

Sabe-se que um dos principais fatores controladores da erosão é a declividade, assim como descrito por ROSS (1994) e pelo próprio CREPANI et al. (2001). Neste contexto, a bacia do rio Mutum ocupa duas unidades geomorfológicas: o Planalto dos Guimarães e a Planície do Pantanal, onde, em tese os processos erosivos ocorreriam no Planalto e, nas áreas de escarpa da bacia em função da declividade. Na Planície do Pantanal esses processos não ocorreriam, ou ocorreriam em menor intensidade, por força da baixa declividade. Não obstante temos que considerar que o fator definidor do Pantanal, que o caracteriza como a maior Planície contínua de inundação do mundo é seu pulso de inundação. Desta forma, entende-se que os processos erosivos dessa unidade geomorfológica estão fortemente ligados a dinâmica de inundação, na medida em que transporta partículas erodidas na coluna d'água que vão se depositando conforme a velocidade do fluxo da água. Essas partículas seriam principalmente as menores como areias muito finas, silte e argila.

Assim, a partir da possibilidade de adaptar a metodologia de zoneamento da vulnerabilidade ambiental a processos erosivos, conforme características específicas de cada área, entende-se que para sua aplicação no Pantanal ela deve conter um tema que se refira especificamente a inundação, considerando que se trata de uma força controladora de diferentes processos físicos no Pantanal. Os temas mapeados neste trabalho foram chuvas, inundação, uso e cobertura vegetal da terra, geologia, declividade e tipos de solo. Cada um desses mapas temáticos foram produzidos ou adquiridos conforme as metodologias que serão descritas posteriormente.

Inicialmente para cada um dos temas adotou-se uma metodologia específica para sua construção e aquisição, porém primeiramente foi necessário estabelecer um peso de 1,0 a 3,0 para o potencial de pedogênese e morfogênese para cada classe contida dentro de cada mapa temático. A relação de morfogênese e pedogênese dos pesos está expressa na Tabela 1, sendo que quanto mais perto do 3.0 de vulnerabilidade maior a morfogênese e, ao contrário, quanto mais perto de 1.0 mais estável a classe e a prevalência da pedogênese.

Tabela 1 – Relação entre Pedogênese e Morfogênese e seus respectivos pesos.

Categoria	Pedogênese x Morfogênese	Peso
Estável	Prevalece a Pedogênese	1.0
Moderadamente Estável/Vulnerável	Equilíbrio entre a pedogênese / Morfogênese	2.0
Vulnerável	Prevalece a Morfogênese	3.0

Após a definição de pesos de cada classe em cada mapa temático teve início o processo de padronização dos dados dentro de um banco de dados do SIG Spring 5.3®, de tal forma que os dados foram rotulados para serem lidos pela ferramenta LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Após esse processo foi idealizada a equação de média simples a ser escrita em LEGAL, conforme a equação 1:

(1)

$$V = \frac{(G + D + S + UC + C + I)}{6}$$

Onde:

V = Vulnerabilidade; G = vulnerabilidade ao tema de Geologia; D= Vulnerabilidade ao tema de Declividade; S = Vulnerabilidade ao tema Tipos de Solo; UC = Vulnerabilidade ao tema de Uso e Cobertura Vegetal; C = Vulnerabilidade ao tema Chuvas; I = Vulnerabilidade ao tema inundação.

Com a idealização conceitual do que se pretendia expressar com cada mapa temático e, com a equação escrita da forma convencional, iniciou-se o processo de registro da console que contém a equação 1, escrita em formato LEGAL, por meio de um script escrito em .txt conforme Motta; Sassagawa e Medeiros (2015). Este procedimento indica as sintaxes, formas e estruturas de escrita dessa linguagem de programação. Após a finalização da escrita em .txt o algoritmo foi colado dentro da interface de programação LEGAL e as linhas correspondentes a pesos e variáveis foram transferidas para as cores azul e vermelho. Vale destacar que é muito importante que as sintaxes dos rótulos das classes estejam exatamente iguais na console e nas tabelas de atributos. Além disso é importante cuidar para que todas as linhas de programação sejam expressão da realidade técnica, de forma que não haja pontos, vírgulas, parênteses, etc. fora de contexto.

Um programa em LEGAL deve ser sempre iniciado com { e finalizado com } e todas as descrições de funções ou definições devem conter // precedendo a descrição. Todas as classes dos temas são por sua vez, descritos entre “ ” seguidos por : para informação do peso da classe. O dado de saída deve ser informado como //Criação do dado de saída, na linha seguinte deve conter a indicação de saída bem como, escala e valor máximo e mínimo, por fim a programação deve conter novamente o operador da média, seguido pela equação 2 que pode ser utilizada em trabalhos futuros com a devida citação e identificação da autoria conceitual:

A saber:

(2)

$$\text{var7} = 0.1 * (\text{Pondere}(\text{var1}, \text{tab1})) + 0.1 * (\text{Pondere}(\text{var2}, \text{tab2})) + 0.1 * (\text{Pondere}(\text{var3}, \text{tab3})) + 0.1 * (\text{Pondere}(\text{var4}, \text{tab4})) + 0.1 * (\text{Pondere}(\text{var5}, \text{tab5})) + 0.1 * (\text{Pondere}(\text{var6}, \text{tab6}));$$

Onde:

Temático var1 ("MAPA_declividade"); Temático var2 ("MAPA_geologia"); Temático var3 ("MAPA_solos"); Temático var4 ("MAPA_usos"); Temático var5 ("inundacao"); Temático var6 ("clima"); Temático var7 = ("vulnerabilidade");

A equação 2 equivale exatamente a equação 1 idealizada inicialmente, para que o dado de saída expresse exatamente o esperado. O Plano de informação de saída deve ser numérico MNT (Modelo Numérico de Terreno) previamente editado em modelo de dados no menu Arquivo criando um MNT com o nome da vulnerabilidade. Após a inicialização da console o programa cria uma grade regular da vulnerabilidade com a média ponderada dos dados de entrada, pixel a pixel, e gera uma imagem MNT passível de fatiamento conforme classes de vulnerabilidade ambiental estabelecidas por Crepani et al. (2001) (Tabela 2).

Tabela 2 – Escala de vulnerabilidade das unidades de paisagem, conforme Crepani et al. (2001).

Unidades de Paisagem	Grau de vulnerabilidade	Zonas de Vulnerabilidade	Classes
21	1.0		Estável
20	1.1		
19	1.2		
18	1.3		
17	1.4		Moderadamente Estável
16	1.5		
15	1.6		
14	1.7		

Unidades de Paisagem	Grau de vulnerabilidade	Zonas de Vulnerabilidade	Classes
13	1.8		Moderadamente Estável / Vulnerável
12	1.9		
11	2.0		
10	2.1		
09	2.2		
08	2.3		Moderadamente Vulnerável
07	2.4		
06	2.5		
05	2.6		
04	2.7		Vulnerável
03	2.8		
02	2.9		
01	3.0		

O processo final da construção do mapa de vulnerabilidade consiste no fatiamento do MNT representado pelo procedimento de informar ao SIG os intervalos de classes da vulnerabilidade para classificação das zonas de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.

Para cada um dos seis temas mapeados foi necessário utilizar uma metodologia específica para sua aquisição ou construção do tema, obedecendo a ordem apresentada na figura 10 e descrita nos tópicos a seguir do texto.

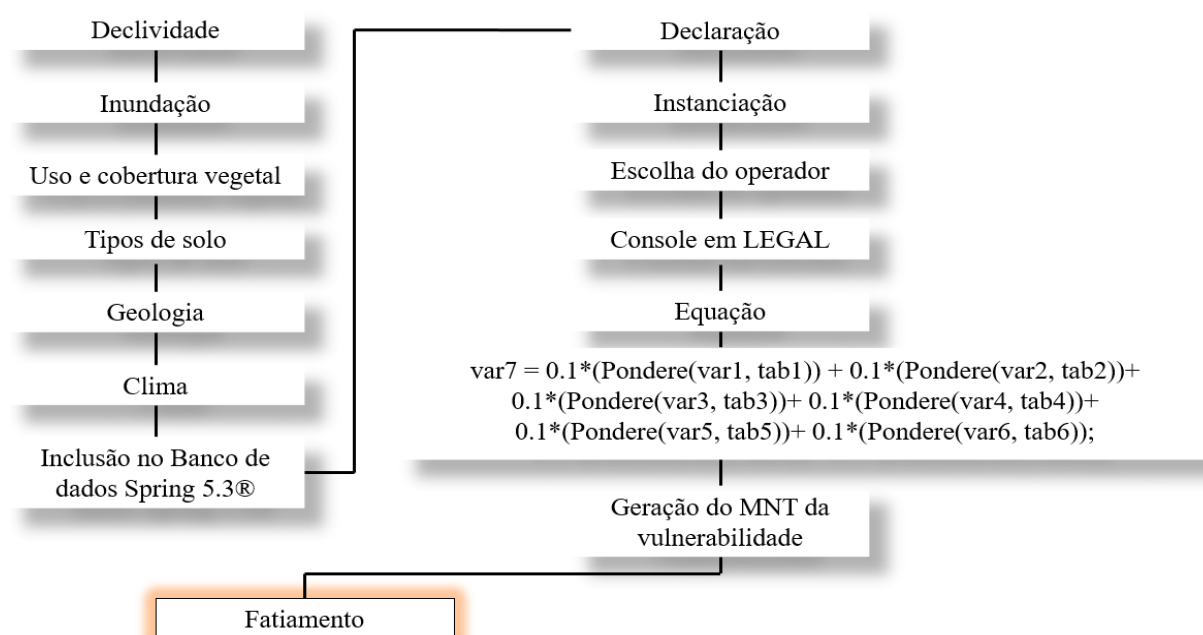


Figura 10 – Organograma com as etapas metodológicas para a construção do mapa de Vulnerabilidade Ambiental da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).

3.3 ANÁLISE DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

Crepani et al. (2001), apresenta valores de vulnerabilidade ambiental ao tema chuvas para todo o Brasil, onde toda a área da bacia do rio Mutum estaria caracterizada como moderadamente vulnerável, já que está inserida dentro da unidade da bacia do Alto Paraguai. Porém considerando que a escala desses dados é de 1: 1 000 000 000, optou-se por melhorar a escala desse tema refazendo a análise de intensidade pluviométrica especificamente para a bacia do rio Mutum seguindo os mesmos procedimentos metodológicos de Crepani et al. (*op cit*).

O valor da intensidade pluviométrica para a área foi obtido dividindo o valor da pluviosidade média máxima anual (mm) pela duração do período chuvoso (meses) no caso do Pantanal em média 6 meses, conforme Tarifa (1984). Os valores de intensidade pluviométrica podem ser considerados representantes de valores de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética responsável pela erosividade da chuva. Logo podemos afirmar que, quanto maiores os valores de intensidade pluviométrica, maior será a erosividade da chuva e, desta forma, criar uma escala de erosividade da chuva que represente a influência do clima nos processos morfodinâmicos.

Foram analisadas 4 estações com séries temporais comuns (2003 - 2012), duas no Planalto e duas na Planície (Figura 11). Após cálculos de intensidade pluviométrica obteve-se valores máximos e mínimos da intensidade de cada uma das unidades geomorfológicas da bacia do rio Mutum e, através dos valores máximos, foi possível identificar em que intervalo esse valor se encaixou, definindo-se assim, o grau de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica (Tabela 3).

Para especializar a informação da vulnerabilidade ambiental ao tema de intensidade pluviométrica buscou-se avaliar a diferença de precipitação entre o Planalto e a Planície, sendo que no Planalto houve maior volume de chuvas quando comparado à Planície do Pantanal, conforme dados descritos por Tarifa (1984) para a região. Assim, adotou-se valores de vulnerabilidade também distintos. Considerando este fato e, o limite entre as duas unidades geomorfológicas da bacia do rio Mutum, foram criados dois polígonos: o primeiro para o Planalto com altitudes de 350 a 900 metros e, o segundo para a Planície com altitudes de 350 a 100 m. Para cada um deles foi atribuído o valor de vulnerabilidade identificado para a unidade geomorfológica específica. Em seguida esses polígonos foram unidos e transformados em formato imagem, para serem inseridos no banco de dados da vulnerabilidade ambiental no SIG Spring 5.3®.

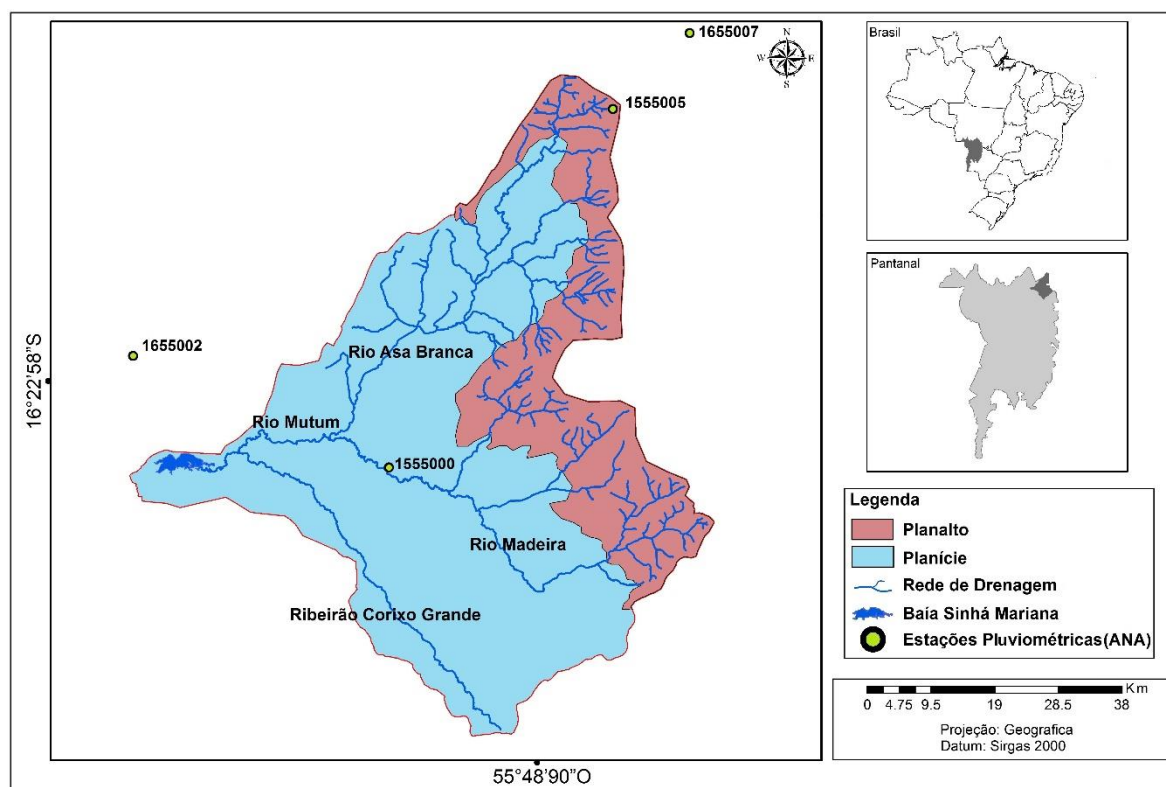


Figura 11 – Mapa de localização das estações pluviométricas analisadas. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).

Tabela 3 – Valores de vulnerabilidade conforme a intensidade pluviométrica (mm/mês), de acordo com Crepani et al. (2001).

mm/mês	Vulnerabilidade	mm/mês	Vulnerabilidade	mm/mês	Vulnerabilidade
<50	1.0	200 – 225	1.7	375 – 400	2.4
50 – 75	1.1	225 – 250	1.8	400 – 425	2.5
75 – 100	1.2	250 – 275	1.9	425 – 450	2.6
100 – 125	1.3	275 – 300	2.0	450 – 475	2.7
125 – 150	1.4	300 – 325	2.1	475 – 500	2.8
150 – 175	1.5	325 – 350	2.2	500 – 525	2.9
175 – 200	1.6	350 – 375	2.3	>525	3.0

3.4 MAPA DAS ÁREAS INUNDÁVEIS NA BACIA DO RIO MUTUM

Neste trabalho foram utilizados dados indiretos da área inundável na bacia do rio Mutum cedidos por Gustavo Benedito Medeiros Alves. Em seu estudo (Alves, 2015) levou em consideração o pulso de inundação de 2008 a 2014 e, por meio do Índice de Umidade na Superfície Terrestre (LSWI) das imagens MOD13Q1 obteve as áreas inundáveis. Com isto desenvolveu um modelo de regressão logística para validar o desempenho do LSWI na diferenciação das áreas inundadas e não inundáveis, com 96% de confiabilidade para demonstração das áreas de inundação.

A área de estudos de Alves (2015) se estende por um quadrante de 753.328 hectares em que a bacia do rio Mutum se encontra no centro da área amostrada. Assim, um vetor do limite da bacia do rio Mutum foi utilizado para recorte dos dados de inundação no ano de 2011, já que se refere ao máximo valor de área inundada na bacia do rio Mutum dentro da série histórica analisada.

Após o recorte dos dados estes foram convertidos em formato imagem e, na tabela de atributos desta imagem foi inserido, para as áreas inundáveis, o valor de vulnerabilidade 3.0, considerando que Crepani et al. (2001) propõe o valor 3.0 para as planícies, áreas sujeitas à inundação e de intensa morfodinâmica, nas quais os processos de morfogênese predominam sobre a pedogênese e, portanto, apesar do relevo plano, são basicamente instáveis. Quanto aos locais da bacia que não inundam foi atribuído o valor de estabilidade 1.0, conforme proposto pelo mesmo autor.

3.5 MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA

O presente estudo adota o termo de uso e cobertura vegetal da terra para identificar as transformações ocorridas em um determinado espaço. A opção ocorre diante do direcionamento da pesquisa, já que o termo encontra-se ligado aos objetivos da ciência geográfica, que se preocupa em estudar os fenômenos pertinentes à relação do sistema socioeconômico com o sistema ambiental (SIMOM, 2007).

Para produção do mapa de uso e cobertura da terra foi utilizada uma cena LandSat 8 sensor *Operational Land Imager* (OLI), na composição de bandas 4-3-2, para mostrar a cor natural dos elementos na superfície terrestre, referente a órbita/ponto 227/71, obtida em formato “tif” no site <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>, referente a data 07/08/2015. Essa imagem tem resolução radiométrica de 16 bits, resolução espacial de 30 m, resolução temporal de 16 dias e são georreferenciadas e ortorretificadas.

Foram utilizados 70 pontos de controle referentes a 7 classes de uso e cobertura vegetal do solo da bacia do rio Mutum, coletados em pontos diversos da bacia entre os anos de 2012 e 2016. A partir dos pontos de controle aferidos elaborou-se uma chave de classificação baseada no Manual de Uso do Solo do IBGE (2013), em seu nível categórico 2, para as seguintes classes: Pastagem (nativas ou cultivadas que podem ser utilizadas para pastoreio), Culturas Temporárias (soja, milho, cana), Águas Continentais (pesca e turismo), Áreas Descobertas (pecuária ou desmatamentos recentes) e Silvicultura (com introdução de gado). Para as classes de cobertura vegetal foi consultado o Manual de Vegetação do IBGE

(2012), com emprego das classes de Savana, Parque-Savana Florestada e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial.

A partir da definição das classes e juntamente com os pontos de controle foi iniciada a rotina de classificação supervisionada no Sistema de Informação Geográfica (SIG) Spring 5.3®, para obtenção do mapa de uso e cobertura vegetal da terra da bacia do rio Mutum por meio do classificador "pixel a pixel", que utiliza apenas a informação espectral isolada de cada pixel, escolhido conforme os pontos de controle para definir regiões homogêneas. Foi adotado um classificador estatístico que utiliza o algoritmo de processamento da *distância euclidiana* para associar um pixel à uma determinada classe, definida a partir dos pontos de controle existentes.

Posteriormente para cada tipo de cobertura e uso da terra foi atribuído um valor de estabilidade ou de vulnerabilidade. Esses valores de vulnerabilidade foram baseados em interpretações bibliográficas de trabalhos semelhantes e em conhecimento de campo.

No caso do valor de vulnerabilidade das classes de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial e Savana Parque – Savana Florestada foi considerada a densidade da cobertura vegetal observada em campo entre os anos de 2012 – 2016 (Figura 12) e a densidade da cobertura vegetal observada na imagem utilizada para a classificação, sendo que o valor de vulnerabilidade para essas classes foi 1.0 estável, pois a cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem está diretamente ligada à sua capacidade de proteção do solo (Tabela 4). Assim, aos processos morfogenéticos relacionam-se às coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo (CREPANI et al., 2001).



Figura 12 – Foto demonstrando a densidade da cobertura vegetal da bacia do rio Mutum.

A classes Pastagem (Figura 13 e 14) englobam tanto pastagens naturais do Pantanal, quanto pastagens cultivadas para uso pecuário. Este tipo de cobertura vegetal quando associado à inundação e pecuária são consideradas vulneráveis (PEREIRA; CHAVEZ e SILVA, 2012) por isso recebeu valoração de grau 3.0 de vulnerabilidade.



Figura 13 – Pastagem inundada na bacia do rio Mutum. Da autora (2012).



Figura 14 – Gado sobre pastagem no período de estiagem da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).

As Áreas descobertas (Figura 15) por sua vez, também foram consideradas vulneráveis com grau 3.0, pelo fato de não se terem cobertura vegetal para diminuição dos processos de morfogênese (Tabela 4).



Figura 15 – Área de solo exposto após queimada em área de pastagem do Planalto da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).

A Silvicultura (Figura 16) foi considerada uma atividade moderadamente vulnerável 2.5, pois trata-se de uma cultura em que a copa das árvores não são densas, além do que, na bacia do rio Mutum a silvicultura é praticada em propriedades em consórcio com o gado que pisoteia o solo.



Figura 16 – Silvicultura praticada na planície da bacia do rio Mutum. Da autora (2016).

Com relação as águas continentais passíveis de mapeamento, ou seja, expostas na imagem foram classificadas como moderadamente estáveis, por conta do caráter de transporte do rio e pela intensa atividade pesqueira desenvolvida nos rios estudados.

Por fim as Culturas temporárias foram tidas como moderadamente estáveis/moderadamente vulneráveis. Embora em Crepani et al. (2001) as culturas agrícolas sejam tidas como vulneráveis, por conta do período de rotação de cultura em que o solo fica exposto, deve-se lembrar que no sul do estado de Mato Grosso, utiliza-se comumente o sistema de plantio direto, o que previne a perda de solos, muito embora este sistema favoreça a compactação dos solos, sobretudo dos mais argilosos (SANTOS, 2005).

No entanto, atualmente, o sistema de plantio direto foi modernizado, com a introdução do revolvimento da palhada somente das áreas de semeadura dos talhões agrícolas. A perda de solos foi reduzida e, a compactação do solo, da mesma forma, tornou-se menor. Assim a palhada das plantas de cobertura permite proteger a superfície do solo, bem como seus agregados, da ação direta dos raios solares e da ação do vento, reduzindo assim os processos de erosão hídrica; diminuindo a taxa de evaporação, mantendo a umidade do solo e; ao permitir melhorias na infiltração e armazenamento de água no solo, reduz a amplitude térmica do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas e organismos do solo (LIMA, 2014).

Tabela 4 – Classes de usos e cobertura do solo e seus respectivos valores de vulnerabilidade. Fonte: Crepani et al. (2001).

Tema	Classes	Peso
Uso e cobertura vegetal	Floresta Estacional Semidecidual	1.0
	Aluvial	1.0
	Savana Parque – Savana Florestada	1.0
	Águas Continentais	1.5
	Culturas Temporárias	2.0
	Silvicultura	2.5
	Pastagem	3.0
	Áreas Descobertas	3.0

3.6 MAPA DE DECLIVIDADE

A declividade foi calculada a partir de Modelo Digital de Elevação (DEM), imagem GDEM Aster II, cena 55, com resolução espacial de 30 metros, o que torna possíveis mapeamentos em escalas de 1: 250 000, com o auxílio do SIG Spring 5.3®.

A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal e foi calculada e apresentada pelo SIG Spring 5.3® como gradiente de inclinação. Este gradiente é a taxa máxima de variação no valor da elevação e, é medido em graus (0 a 90°) ou em porcentagem (%).

O DEM foi importado para o interior do banco de dados no plano de informação imagem, tendo sido realizada a operação que o converte em MNT, no Menu imagem. Com o MNT foi estimada uma grade regular para que, em seguida, as curvas de nível pudessem ser extraídas de 10 em 10 metros. Para refinamento desses dados Leite e Rosa (2012) indica que as isolinhas das curvas de nível podem ser utilizadas, como amostra, para a criação de um TIN (Redes Irregulares de Triângulos). Desta forma as isolinhas são exportadas em formato ASCII SPRING. Este arquivo é editado com o software Bloco de Notas do Windows alterando a primeira linha do arquivo original, onde troca-se a palavra CONTOURLINES por SAMPLE. Após salvo, o arquivo é importado para o banco de dados como amostra de MNT. Esta operação possibilita a geração de uma grade triangular pelo referido software, mais adequada para a geração da declividade. A partir da grade triangular foi gerado uma grade numérica de declividade em um PI MNT (Plano de informação – Modelo Numérico de Terreno). Este MNT em seguida pode ser fatiado em intervalos de declividade para gerar um mapa de declividade, conforme classes de vulnerabilidade de Crepani et al. (2001) (Tabela 5).

Tabela 5 – Classes morfométricas, intervalos em porcentagem e seus respectivos valores de vulnerabilidade. Fonte: Crepani et al. (2001).

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Valores de vulnerabilidade
Estável	< 2	1.0
Moderadamente Estável	2 – 6	1.5
Moderadamente Estável / Vulnerável	6 – 20	2.0
Moderadamente Vulnerável	20 – 50	2.5
Vulnerável	> 50	3.0

3.7 MAPA DE TIPOS DE SOLOS

O mapa de tipos de solos da bacia do rio Mutum foi obtido junto à Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso (SEPLAN), na escala de 1: 250000, disponibilizado em 2007. As informações cartográficas do mapa original disponíveis em formato vetorial Shape foram recortadas no SIG ArcGis 10.3®.

Com os vetoriais abertos no SIG foi executado o processo de recorte desses dados, conforme o limite da bacia do rio Mutum, onde foram encontrados oito tipos de solos que receberam valores de vulnerabilidade conforme estabelecido por Crepani et al. (2001) que propõe valores de vulnerabilidade conforme o desenvolvimento dos solos e de seus horizontes (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de vulnerabilidade dos solos. Fonte: Crepani et al. (2001).

Tipo de solo	Grau	Classe
Latossolo Vermelho	1.0	Estável
Argissolo Vermelho Amarelo	2.0	Moderadamente Estável / Vulnerável
Planossolo Háplico	2.0	Moderadamente Estável / Vulnerável
Argissolo Amarelo	2.0	Moderadamente Estável / Vulnerável
Neossolo Litólico	3.0	Vulnerável
Neossolo Quartzarênico	3.0	Vulnerável
Gleissolo Háplico	3.0	Vulnerável
Plintossolo Argilúvico	3.0	Vulnerável

Após a inclusão dos valores de vulnerabilidade das respectivas classes de solo na tabela de atributos, os dados vetoriais foram convertidos para formato imagem “.tif” e foram inseridos no banco de dados geográfico da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum no SIG Spring 5.3®.

3.8 MAPA GEOLÓGICO

O mapa de formações geológicas foi obtido junto a Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso (SEPLAN), na escala de 1: 250000, disponibilizado em 2007 para todo o estado. As informações cartográficas do mapa original disponíveis em formato vetorial Shape foram recortadas no SIG ArcGis 10.3®.

Com os vetoriais abertos no SIG foi executado o processo de recorte desses dados conforme o limite da bacia do rio Mutum, onde foram encontrados onze tipos de formações que receberam valores de vulnerabilidade conforme estabelecido por Crepani et al. (2001) que propõe valores de vulnerabilidade conforme o grau de coesão das rochas (Tabela 7).

Após a inclusão dos valores de vulnerabilidade das respectivas classes geológicas na tabela de atributos, os dados vetoriais foram convertidos para formato imagem .tif e foram inseridos no banco de dados geográfico da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum no SIG Spring 5.3® como imagem rotulada.

Tabela 7 – Escala de vulnerabilidade do grau de coesão das principais rochas da bacia do rio Mutum. Fonte: Crepani et al. (2001).

Formação	Grau	Classe
Sequencia Vulcânicas Mimoso	1.1	Estável
Corpo Granito São Vicente	1.1	Estável
Suíte Ponta do Morro	1.2	Estável
Grupo Cuiabá - Subunidade Indivisa	2.0	Moderadamente Estável/Vulnerável

Formação	Grau	Classe
Cachoeirinha	2.4	Moderadamente Vulnerável
Formação Furnas	2.4	Moderadamente Vulnerável
Formação Pantanal - fácies depósitos Aluvionares	2.4	Moderadamente Vulnerável
Formação Pantanal - fácies terraços Aluvionares	2.4	Moderadamente Vulnerável
Grupo Rio Ivaí	2.4	Moderadamente Vulnerável
Formação Pantanal - fácies depósitos Coluvionares	2.5	Moderadamente Vulnerável
Depósitos Aluvionares	3.0	Vulnerável

Tabela 7 – Escala de vulnerabilidade do grau de coesão das principais rochas da bacia do rio Mutum. Fonte: Crepani et al. (2001).

3.9 LOCALIZAÇÃO DAS COLETAS HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS

Para avaliação dos parâmetros hidrológicos e morfométricos da baía Sinhá Mariana foram executadas duas topobatimetrias em onze seções, duas coletas de sedimentos de fundo na baía Sinhá Mariana, na região central de cada seção topobatimétrica, três coletas de vazão líquida do rio Mutum antes do seu alargamento para formar a baía Sinhá Mariana e, três coletas de vazão sólida no mesmo ponto do rio Mutum (Figura 17).

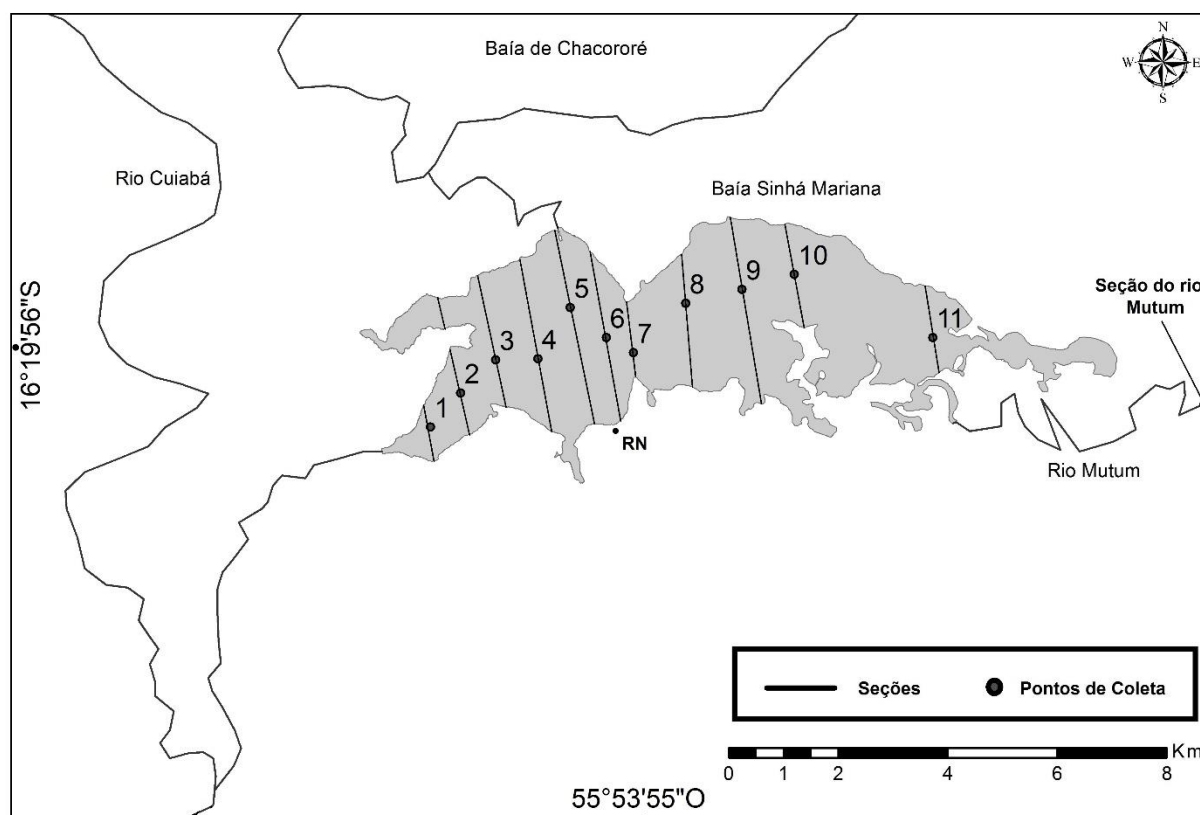


Figura 17 – Mapa de localização das seções topobatimétricas (1 a 11) e pontos de coleta de sedimentos de fundo na baía Sinhá Mariana e; a seção fluviométrica do rio Mutum.

3.10 CARACTERIZAÇÃO TOPOBATIMÉTRICA

Para relacionar a vulnerabilidade ambiental à perda de solos da bacia do rio Mutum, com os tipos granulométricos de sedimentos e sua deposição no rio Mutum/Baía Sinhá Mariana, foram realizados dois levantamentos topobatimétricos para caracterização geral do sistema. O primeiro levantamento topobatimétrico da baía Sinhá Mariana foi realizado nos dias 24 e 25 de outubro de 2015 (seca) e o segundo em 31 de março e 01 de abril de 2016 (cheia).

Inicialmente foi preparado em laboratório um vetor das seções planejadas e implantadas posteriormente em campo conforme o limite da lamina d'água estabelecido pela imagem temática do mapa de uso e cobertura vegetal da terra que classificou as áreas de águas continentais visíveis ao satélite. Foi instalado um Marco de Referência do Nível (RN), na coordenada UTM WGS84, Zona 21S 617588.22 E 8193106.64 W, na área marginal esquerda da baía Sinhá Mariana, conforme delimitação do contorno da lâmina d'água da baía, paralelo às seções transversais. Para nivelar e georreferenciar o marco foi utilizado nível topográfico automático modelo GI 332 e, o GarminEtrexGPSmap 62. Quanto a definição da cota altimétrica do marco foi utilizado um altímetro modelo ABD-01, posicionado no exato local do marco e deixado em repouso por 4 horas para calibração da real cota altimétrica. Desta forma o marco atende todas as recomendações e normas técnicas da ABNT.

Foram implantadas 11 seções na baía Sinhá Mariana, e o espaçamento das seções foram fornecidos pelo GPS GarminEtrexGPSmap 62, com parada manual a cada 50 metros, a partir do NA (Nível da Água) de onde se iniciou a seção previamente georreferenciada, (Tabela 8), tendo os dados de profundidade sidos coletados com uma sonda portátil.

Tabela 8 – Coordenadas iniciais e finais das seções implementadas (SEC) na baía Sinhá Mariana em WGS84 Zona 21S.

Seções	Margem esquerda		Margem direita	
SEC 1	615417.00	8192610.00	615262.00	8193231.00
SEC 2	615786.00	8192887.00	615424.00	8194519.00
SEC 3	616197.00	8193206.00	615889.00	8194773.00
SEC 4	616713.00	8192921.00	616369.00	8194975.00
SEC 5	617127.00	8192973.00	616799.00	8195299.00
SEC 6	617476.00	8193006.00	617235.00	8194979.00
SEC 7	617706.00	8193548.00	617608.00	8194431.00
SEC 8	618408.00	8193399.00	618199.00	8194992.00
SEC 9	619062.00	8193233.00	618815.00	8195428.00
SEC 10	619570.00	8194164.00	619454.00	8195372.00
SEC 11	621130.00	8193564.00	621061.00	8194615.00

Após a coleta de campo, realizou-se a seleção, tratamento e processamento dos dados. A partir deste refinamento foi possível gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT) da baía Sinhá Mariana, em UTM, DWS84 Zone 21S. Os dados de profundidade foram transformados em cotas usando como referência o NA de cada margem.

Importou-se os dados de entrada para o ArcGis 10.3® e realizou-se então a interpolação desses dados por TIN (Triangular Irregular Network) através do método da Triangulação de Delaunay. Esse tipo de triangulação tende a criar triângulos mais homogêneos o que favorece uma melhor aproximação com a realidade do terreno amostrado, quando comparado a outros métodos de interpolação. Gerou-se então um MDT (Modelo Digital do Terreno) que é uma representação computadorizada da superfície de relevo levantada. Com o MDT foi possível gerar as isóbatas e a área de cada uma delas em ArcGis 10.3®.

O volume foi calculado seguindo o método dos prismas modificados, seguindo recomendações de Sperling (1999) e Carvalho et al. (2000), em que se usa a seguinte equação:

(3)

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A + B + \sqrt{A \cdot B})$$

Onde:

A e *B*: áreas de duas curvas isobáticas sucessivas

H: a distância entre elas.

O volume total obtido consiste na somatória dos volumes de cada estrato.

3.11 GRANULOMETRIA DO FUNDO DA BAÍA SINHÁ MARIANA

Para a análise granulométrica do sedimento de fundo foi utilizado um coletor tipo Draga de Petersen. Foram coletadas a partir de amostras na região central, em todas as seções topobatimétricas da baía Sinhá Mariana,

A análise granulométrica identificou o tamanho das partículas ou grãos e sua distribuição em porcentagem de diâmetro dos sedimentos. Para tanto, após secagem das amostras foi feita a classificação granulométrica a partir de diferentes malhas de peneiras, segundo a ABNT NBR NM ISO3310/2010, atendendo classificação granulométrica do

CONAMA 454/2012. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Hídricas e Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Mato Grosso/Campus de Rondonópolis.

3.12 COLETA DE VAZÃO LÍQUIDA E SÓLIDA

Para conhecer o volume de água que passa em uma determinada seção do rio Mutum, em um intervalo de tempo, foram realizadas três medições de vazão líquida e sólida na estação fluviométrica localizada no rio, à montante da baía Sinhá Mariana, nos dias 16/10/2015, 23/10/2015 e 31/03/2016. Com isso, foram obtidas informações sobre o aporte pontual de sedimentos pelo método de Colby, referente às datas de coleta.

A finalidade de uma estação fluviométrica é determinar a vazão e, consiste basicamente na instalação de réguas limnométricas escalonadas na margem, de modo que permita a um observador fazer leituras de cotas de nível de água (NA) de um rio.

A vazão líquida foi medida de acordo com normas exigidas pela ANA (Agência Nacional de Águas), onde dividiu-se a seção transversal em várias verticais, em função da largura do curso d'água, com auxílio de uma corda de nylon graduada em metros, instalada em ambas as margens, com espaçamento recomendado para cada largura do rio, no sentido da margem esquerda para margem direita.

Mediu-se a profundidade em cada vertical a 20% e 80% e, respectivamente à velocidade da corrente da água com um molinete fluviométrico marca Hydromec, com equação da hélice 14-410, válido para rotações (N) menores ou iguais a 0,7826 rps: $V_{(m/s)} = 0,0159 + 0,24438 \times N$ (rps) Eq.01 ou válido para rotações (N) maiores que 0,7826 rps: $V_{(m/s)} = -0,02324 + 0,28762 \times N$ (rps) Eq.02. Esta equação integra o molinete Hidromec e deve acrescentar a equação do JM.

O molinete foi instalado em um guincho fluviométrico com um lastro de 20 kg com contador de pulsos magnéticos e, cronômetro digital. Molinetes Fluviométricos são aparelhos que giram sob a ação da corrente d'água. A relação entre o número de rotação por segundo e a velocidade de escoamento é calculada através de sua equação:

(4)

$$V = A \cdot N + B$$

Onde:

V = Velocidade da água em m/s

N = Número de rotação por segundo

A, B = Constantes que individualizam cada aparelho aferido

A área parcial foi obtida pela medida da profundidade e da distribuição entre as verticais. Cada elemento de área pode ser calculado como retângulo ou trapézio de acordo com a forma da seção: topobatimétrica ou transversal. Calcula-se a vazão em cada elemento de área (A_i), utilizando-se a expressão:

$$q_i = V_i \times A_i \quad (5)$$

Onde:

V_i a velocidade média em A_i .

A vazão total através da seção transversal do rio é igual a somatória das vazões em cada elemento de área: $Q = \sum q_i$

A vazão sólida seguiu o método de Colby (1957) descrita por Carvalho (1984). A descarga sólida total é acumulada pela soma e descarga medida, Q_{sm} , com a descarga sólida não medida, Q_{nm} .

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (6)$$

O Cálculo de Q_{sm} é feito pela equação:

$$Q_{sm} = 0,0864 \times Q \times C_s \quad (7)$$

Onde:

Q_{sm} = descarga sólida medida (t/dia)

Q = descarga líquida em m^3/s

C_s = concentração de sedimentos em suspensão

O cálculo de Q_{nm} é feito a partir do conhecimento da velocidade média (m/s), da profundidade média em metros, da concentração medida (ppm em mg/L) e da largura da seção (m).

3.13 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão com um amostrador integrado da série Norte-Americana (U.S-DH-59), em conformidade com as profundidades e velocidades do curso da água.

As amostras de sedimentos em suspensão foram coletadas em frascos de vidro de 400 ml, instaladas no interior do amostrador de sedimento, cujo diâmetro do bocal de coleta =

1/8” e, acondicionadas em estojos para serem transportadas ao laboratório, devidamente etiquetadas e acondicionadas para transporte.

A coleta foi realizada pelo método Igual Incremento de Descarga – IID (Carvalho, 2000). Para este procedimento foi necessário determinar a descarga líquida total na seção transversal. A partir desta medição produziu-se um gráfico com utilização de porcentagens acumuladas na descarga e que, posteriormente, foram divididas em subseções de 20%, 40%, 60% e 80% das vazões, coletando-se amostras nestas verticais, com velocidades constantes nas descidas e subidas do amostrador de sedimentos em suspensão.

As análises destes sedimentos foram realizadas no Laboratório de Análises Hídricas e Ecologia Aplicada/ UFMT/Campus de Rondonópolis. Para a avaliação da concentração de sedimentos em suspensão, foi utilizada a metodologia tradicional por filtração, com ajuda de uma bomba à vácuo e, utilização de uma membrana filtrante (fibra de vidro), com diâmetro de 0,47 micras, calcinada em mufla a 500°C.

Todo o volume coletado foi utilizado para análises. A pesagem da membrana seca (P_0) foi efetuada em uma balança analítica, com filtração a vácuo, secagem em estufa a 100°C $\pm$ 105°C e, na sequência colocada para esfriamento em um dessecador, em seguida pesada novamente em uma balança analítica com sedimento (P_i), para obtenção dos resultados finais das concentrações em mg/L ou p.p.m.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para gerar o mapa síntese de vulnerabilidade ambiental foi necessário inicialmente realizar a análise por tema. Desta forma serão apresentados os resultados e discussões relativas aos dados pluviométricos e, na sequência, os demais temas.

4.1 INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

Analisando a série comum de 2003-2012, num total de 10 anos, nas estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas 1555005 - 1556007 (Planalto dos Guimarães) e 1655000 - 1655002 (Planície), localizadas na região da bacia do rio Mutum, obteve-se a constatação de que o ano mais chuvoso foi 2004, com 2283,9 mm no Planalto e, no Pantanal o ano mais chuvoso foi 2012 com 1966,00 mm do total acumulado.

Com as médias máximas encontradas para o Planalto e, para a Planície, foi possível identificar o ano com maior volume de precipitação, o que acusou o valor de intensidade pluviométrica máxima para o planalto de 380,65mm. Este é um valor considerado moderadamente vulnerável de grau 2.4, e para a planície a intensidade pluviométrica foi de 327,66 mm caracterizando a vulnerabilidade moderadamente estável/vulnerável de grau 2.0.

Para Machado et al. (2014) a intensidade das chuvas caracteriza o potencial erosivo das chuvas do Pantanal como elevado de outubro a março, o que permite afirmar que é responsável por 90% da erosividade anual. Para Salles e Poesen (2000), a perda de solo por erosão intersulcos está intimamente ligada às propriedades da precipitação, em razão da energia do impacto das gotas de chuva na superfície do solo e pela sua contribuição para o escoamento superficial.

Para Soriano; Clarke e Galdino (2001), a intensidade das chuvas no Pantanal associada a produção agropecuária são dois dos principais fatores que fazem com que os rios sejam assoreados mais rapidamente.

As vulnerabilidades média e moderada à intensidade das chuvas na bacia do rio Mutum podem ser associadas ao estudo de Galdino; Grego e Silva (2014) que identificaram, para todo o Pantanal, uma erosividade, de moderada a forte em 72% da bacia, com o forte potencial erosivo registrado para os 28% restantes da área. Observou-se um aumento da erosividade no sentido sudoeste para nordeste. Os elevados valores de erosividade das chuvas na BAP, associados a áreas com relevo mais acidentado e, solos mais susceptíveis a erosão,

constituem áreas de maior vulnerabilidade natural à erosão hídrica. O uso racional dessas terras deve ser mais criterioso para minimizar a erosão do solo e seus impactos para o Pantanal, já que a bacia do rio Mutum, para esses autores, se enquadra em alta vulnerabilidade para erosão pela intensidade pluviométrica.

4.2 INUNDAÇÃO DA BACIA DO RIO MUTUM

Na bacia do rio Mutum um total de 39% da área (Figura 18) pode ser inundada. Além disso destaca-se que a inundação é condicionada pela hipsometria que define onde a inundação ocorre. Desta forma temos que, um total de 61% da área da bacia do rio Mutum não inunda, constituindo-se em áreas que estão acima de 400 m acima do nível do mar.

Na medida em que os locais inundáveis são considerados vulneráveis e, para esses locais o valor 3.0 de vulnerabilidade foi estabelecido, ou seja, o mesmo total de áreas inundáveis da bacia do rio Mutum, 39%, temos que é o mesmo total em área que recebeu o valor 3.0 de vulnerabilidade; Os demais locais que não foram classificados como inundáveis receberam peso 1.0 por serem considerados estáveis à variável inundação. As áreas com valor 1.0 de estabilidade são principalmente o Planalto e as partes mais elevadas do terreno.

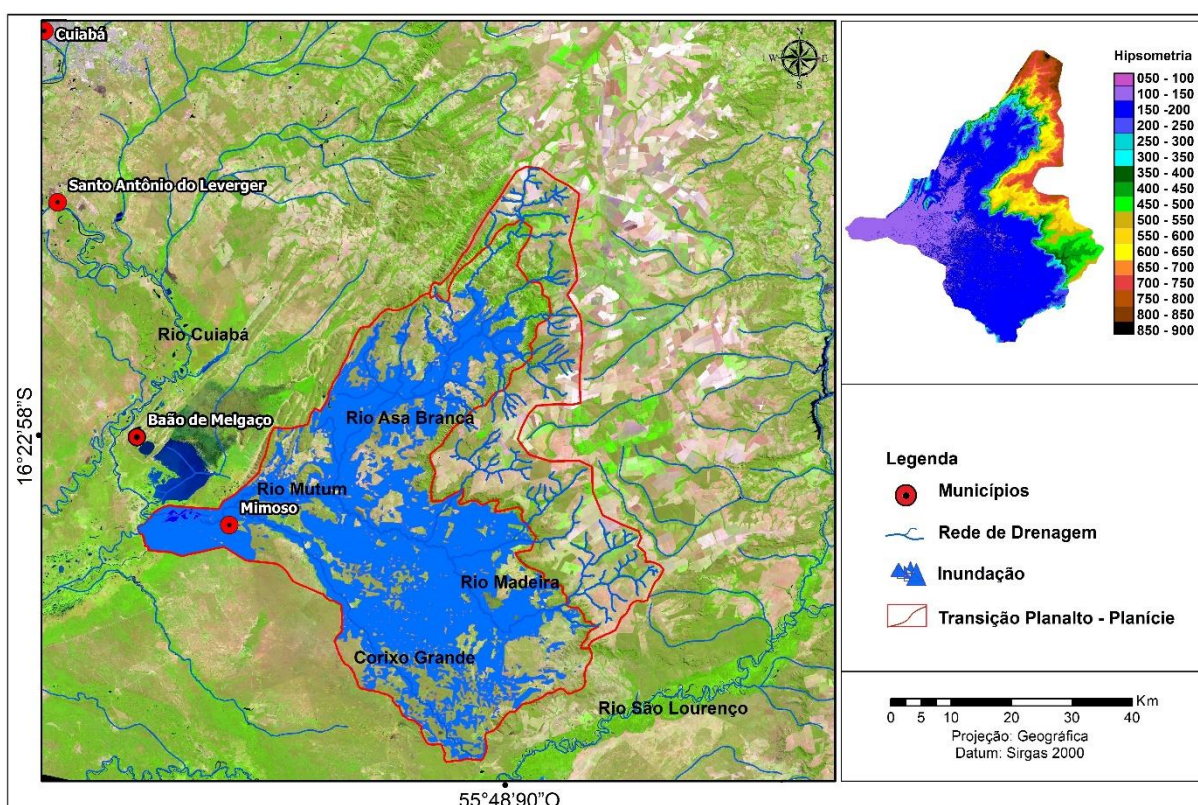


Figura 18 – Mapa de áreas inundáveis da bacia do rio Mutum e respectiva hipsometria da bacia. Fonte: Alves (2015) e GDEM Aster II. Org: Mello (2016).

4.3 USOS E COBERTURA DA TERRA

O mapa de uso e cobertura vegetal apontou sete classes, das quais cinco são de usos da terra e dois são de cobertura vegetal natural. Os principais usos da bacia do rio Mutum são destinados à pastagem para pastoreio de animais, culturas temporárias (cana, soja e algodão), silvicultura, áreas descobertas para pastoreio ou culturas recém-plantadas e águas continentais destinadas à pesca e turismo. Quanto a cobertura vegetal, foram identificadas Floresta Estacional Semidecidual aluvial e Savana Parque - Savana Florestada.

É importante destacar que os usos e coberturas vegetais da terra da bacia do rio Mutum tem estreita ligação com o pulso de inundação e com as feições geomorfológicas, no sentido de que, na unidade geomorfológica do Planalto é desenvolvida principalmente a agricultura intensiva e na planície a pecuária extensiva, em razão da maior facilidade de manejo dos animais. Esse comportamento de uso é compatível com o estudo de WWF-Brasil (2015) que realizou o monitoramento do uso e ocupação do solo do Alto Rio Paraguai (BAP) para os anos de 2012 e 2014, constatando-se que a pastagem corresponde a 12,14% total da planície pantaneira (15109km²), enquanto a agricultura soma 0,11%. Esses resultados de usos da terra são similares aos apontados por PARANHOS et al. (2014).

A pecuária na bacia do rio Mutum é desenvolvida obedecendo ao pulso de inundação, sendo que no período seco a área disponibilizada para a pastagem é de 1228,1 km² (34,8%). Já na cheia os fragmentos de pastagem diminuem para 300,41 km² (8,5%), e, na cheia, os 927,69 km² (26,3%) da forragem restante ocorrem em locais de Transição Aquático-Terrestres ATTZ. Nesse sentido, Araújo (2006) relata que dependendo da intensidade, a inundação pode acarretar graves problemas para os pecuaristas, como diminuição da área de pasto e dificuldade de acesso à região. Já o refluxo das águas promove o aparecimento dos campos de pastagens (GOULART et al., 2015).

Segundo Alves (2015), o movimento das águas nessa região hidrográfica do Pantanal cria paisagens vegetacionais diferentes no decorrer do tempo e espaço, obrigando os pecuaristas a se adaptarem as diversidades que surgem nos períodos de águas altas e baixas, visto que grande parte da economia dessa região é sustentada pela pecuária.

O uso para as culturas temporárias ocupou 358,02 km² (10,2%) na época seca. No período de inundação a área passou por declínio de 25,82 km² (0,7%) em sua área total. Já as áreas de Planalto possuem a predominância de áreas agrícolas mecanizadas. Essa informação corrobora o estudo de Harris et al (2006), os quais relatam que as áreas de Planalto da bacia

do Alto Paraguai são cercadas pela atividade agrícola, e na planície pratica-se agricultura em menor escala.

A classe de cobertura vegetal de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial ocupa as áreas permanentemente úmidas que correspondem a 836,33 km² (23,7%), as quais, durante as cheias, podem apresentar uma área inundada de 666,22 km², (18,9%). A Savana Parque-Savana Florestada apresentou uma área de 775,61 km² (22%), dos quais 554,1 km² (15,7%) são inundados. Segundo Alves et al. (2015) o acréscimo do vigor na cobertura vegetal presente nesse território correlaciona-se com alta oferta hídrica proporcionada pela inundação.

A silvicultura é praticada em 236,17 km² (6,7%) da bacia do rio Mutum, dos quais 81,1 km² (2,3%) podem ser inundados, já que estão em áreas de ATZZ, mas não necessariamente são sempre inundados, fato este que é registrado em anos de maior inundação. As áreas descobertas ocupam 73,12 km² (2,1%), dos quais 13,32 km² (0,4%) são desenvolvidos em áreas de ATTZ. Na época seca as águas continentais têm uma área de 20,33 km² (0,6%) e, em decorrência da inundação, tem sua área expandida em 17,67 km², totalizando 38,0 km² (1,1%) da área.

Na bacia do rio Mutum, se compararmos o uso da terra para a pecuária, com a utilizada para agricultura, é possível afirmar que a primeira atividade é mais problemática em termos de perda de partículas de solo, as quais podem ser carregadas no sentido do sistema rio Mutum - baía Sinhá Mariana.

Primeiramente, porque o modelo de atividade agrícola do planalto utiliza técnicas de plantio direto que previne a perda de solo. Além do que, deve ser considerada a tecnologia utilizada pela agricultura desenvolvida na planície, que não, necessariamente, faz uso de maquinário pesado, já que é praticada em menor escala e preferencialmente com culturas de ciclo curto. Por outro lado, a pecuária, praticada em extensas áreas da planície e, em partes do Planalto consideradas mais vulneráveis, propicia a introdução de forragens exóticas, com a própria ação do gado favorecendo a erosão. Na figura 19 está demonstrado os usos e coberturas vegetais da terra da bacia do rio Mutum e, seus respectivos graus de vulnerabilidade.

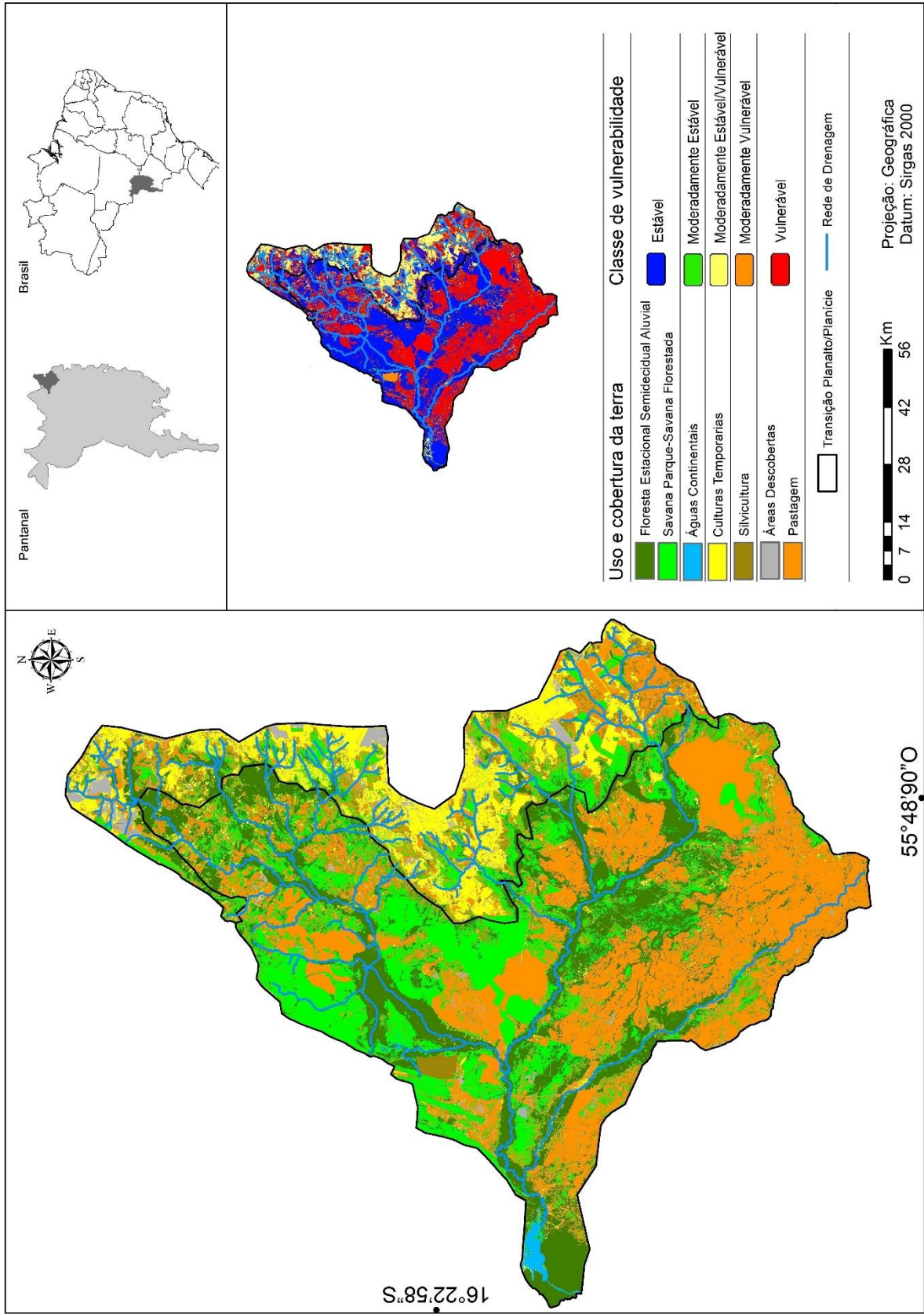


Figura 19 – Mapa de Usos e cobertura vegetal da bacia do rio Mutum e sua escala de vulnerabilidade.

4.4 DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO MUTUM

A análise da declividade apontou a existência de todos os graus de estabilidade/vulnerabilidade, na medida em que 6% da área (200,62 km²) tem inclinação inferior a 2%, considerada estável; 7% da área (241,53 km²) tem inclinação entre 2% e 6%, sendo portanto moderadamente estável; 77% (2545,99 km²) tem área com inclinação entre 6% e 20% cujo grau de vulnerabilidade é moderadamente estável/vulnerável; 9% (287,75 km²) da área tem de 20% a 50% de inclinação considerada de vulnerabilidade moderada e, as áreas com inclinação superior a 50% somam um total de 36,86 km², ou seja 1% da área da bacia do rio Mutum. É a porção mais vulnerável da bacia.

As áreas moderadamente estáveis/vulneráveis da declividade representam a baixa inclinação do terreno, tanto na unidade da Planície, quanto no Planalto. Já as maiores inclinações (superiores a 20%) estão situadas principalmente próximas as áreas de transição entre uma unidade e outra. Sendo as escarpas principalmente as unidades com inclinação entre 30% ou mais que 50% de inclinação.

Segundo Duarte Junior; Santos (2014) esta inclinação mais acentuada, próxima das bordas, quando associadas aos locais de propriedades monocultoras, representam um elevado grau de vulnerabilidade. Klais et al. (2012) aponta que a vulnerabilidade natural é mais alta nos locais em que a declividade tem maior inclinação elevando o potencial de energia do relevo.

A figura 20 demonstra a vulnerabilidade da bacia do rio Mutum ao tema declividade, em que os locais de maior vulnerabilidade, destacados em amarelo e vermelho são respectivamente próximos a área de transição Planalto/Planície e, portanto, mais sujeitos à morfogênese.

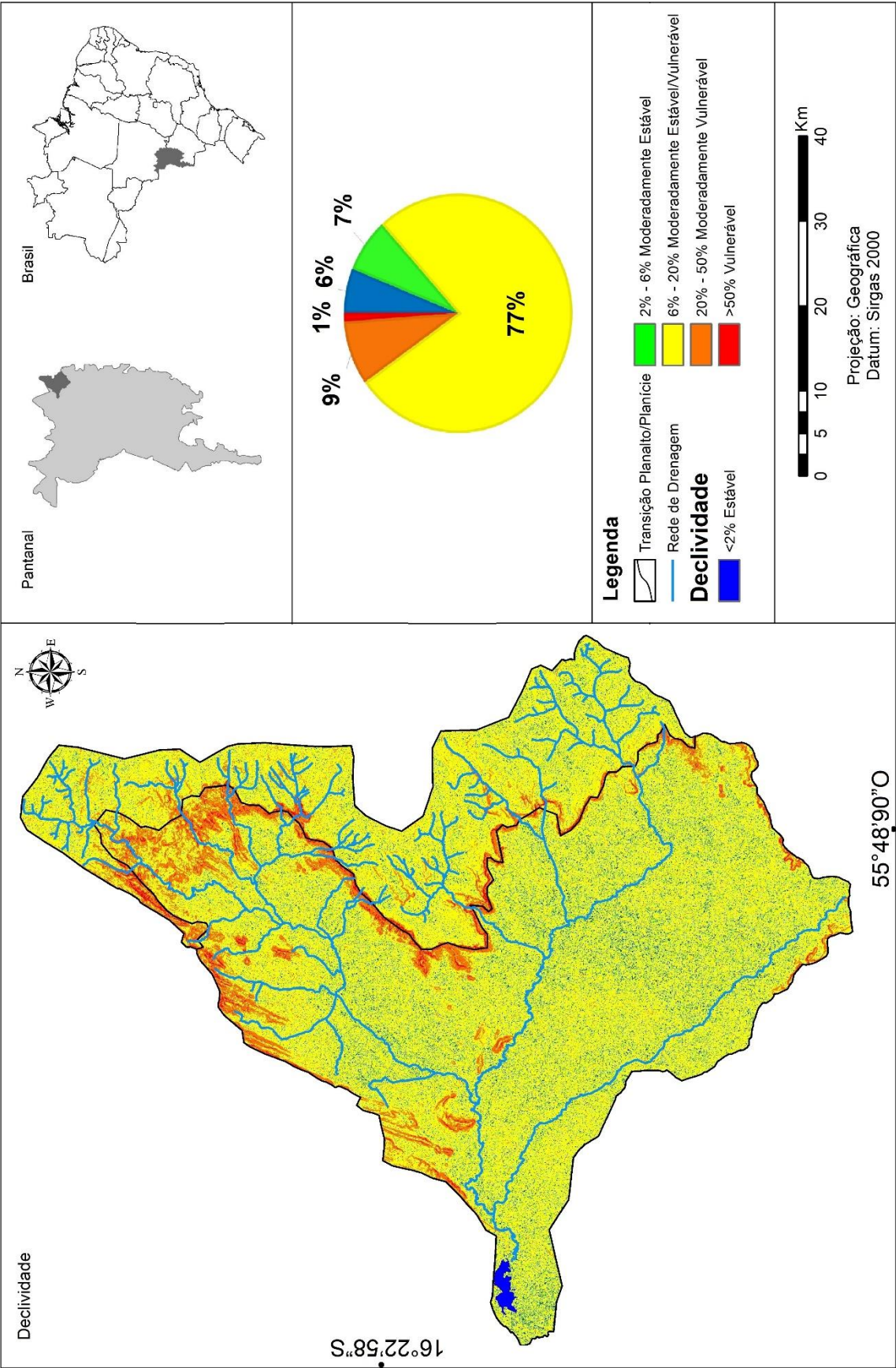


Figura 20 – Mapa de declividade da bacia do rio Mutum com foco nas áreas de transição Planalto/Planície e sua escala de vulnerabilidade.

4.5 VULNERABILIDADE DOS TIPOS DE SOLO

As constatações nas unidades de paisagem consideradas vulneráveis, objeto deste tema, ocorreram em locais com solos pouco desenvolvidos. Nestes solos o horizonte A está assentado sobre o horizonte C, ou então assentado sobre a rocha mãe, não apresentando horizonte B. Desta forma são considerados solos em fase inicial de formação a partir dos materiais de origem recentemente depositados, ou então situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha (CREPANI et al., 2001).

Na bacia do rio Mutum foram localizados oito tipos de solos: Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Planossolo Háplico, Latossolo Vermelho, Gleissolo Háplico, Plintossolo Argilúvico (SEPLAN, 2007).

As principais características destes tipos foram descritas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2013) e, associados à análise de vulnerabilidade descrita por Crepani et al. (2001) quando discorre sobre os principais tipos de solo resumidos a seguir:

Neossolo Litólico são solos com horizonte A ou hístico, sobre rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro médio de 2mm, que apresentam um contato lítico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo, possuindo ainda ausência de gleização expressiva dentro de 50cm da sua superfície. Neossolos são considerados bastante vulneráveis, razão de receberem peso 3.0 de vulnerabilidade. No caso de Neossolos Quartzarênicos, embora também considerados vulneráveis, existem algumas diferenças de constituição, pois se caracterizam por inexistência de contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém com textura mais arenosa, além de serem essencialmente quatzosos (EMBRAPA, 2013; CREPANI et al., 2001).

Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A ou E, com argila reativa (baixa ou alta) saturada ou não por bases. Mais especificamente os Argissolos Amarelos são solos mais amarelos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B ou BA. Os argissolos são considerados com vulnerabilidade intermediária de 2.0, ou seja, moderadamente estáveis/vulneráveis, embora suas características sejam mais estruturadas. Quando em contato com o agente de reativação partículas podem se desprender com mais facilidade. O Argissolo Vermelho Amarelo com

mesmo peso de vulnerabilidade apresentam somente algumas características diferentes como transição de coloração, e horizontes superiores a 100 cm (EMBRAPA, 2013; CREPANI et al., 2001).

O Planossolo Háplico é um tipo de solo constituído por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B Plânico. Neste caso o horizonte plânico, sem caráter sódico, perde em precedência taxonômica para o horizonte plântico. Este tipo de solo é considerado moderadamente estável/vulnerável (EMBRAPA, 2013; CREPANI et al., 2001).

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm de superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresentar mais que 150 cm de espessura. No caso dos Vermelhos a maior parte dos primeiros 100 cm deve ser vermelha. Por serem bem estruturados são considerados solos estáveis com grau 1.0 (EMBRAPA, 2013; CREPANI et al., 2001).

Gleissolos são materiais que possuem horizonte Glei (exclusivamente areia ou areia fina) dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo ou em profundidades superiores de 150 cm, desde que logo abaixo do horizonte A ou E. Os Gleissolos Háplicos são por sua vez, solos com horizonte Glei, mas não se enquadram em nenhuma outra subordem dentro de seu nível categórico, a exemplo dos timórficos, sálicos e melânicos. Os gleissolos são considerados vulneráveis (EMBRAPA, 2013; CREPANI et al., 2001).

Plintossolo Argilúvico são solos com horizonte plântico e horizonte B textural ou caráter argilúvico e, por esta razão, considerados vulneráveis (EMBRAPA, 2013; CREPANI et al., 2001).

Os solos mais vulneráveis da bacia do rio Mutum se localizam principalmente na Planície, tais como os Neossolos Litólico, os Gleissolos e os Plintossolos. Também ocorrem solos vulneráveis no Planalto, a exemplo dos Neossolo Quartzarênico. Além disso os Argissolos e os Planossolos considerados moderadamente estáveis/vulneráveis são também pertencentes a planície. E o solo mais estável, os Latossolos, estão localizados principalmente no Planalto. Do total estudado na área da bacia do rio Mutum, cerca de 56% é considerada vulnerável frente ao tema de tipos de solo, 25% é moderadamente estável/vulnerável e 19% é estável (Figura 21).

Para Cunha et al (2014), as características de infiltração de água no solo definem os parâmetros de transporte de sedimentos, de forma que os solos podem ser classificados conforme essas características. Nesse sentido os autores descrevem a capacidade de infiltração em quatro categorias A, B, C e D. Os solos A são os solos em que o runoff é baixo, já que, quando totalmente molhados, se apresentam na forma de camadas de areias e cascalhos profundos, de drenagem boa à excessiva. Tais solos apresentam alta taxa de transmissão de água. Os solos B quando totalmente molhados, se apresentam como solos de profundidade moderada à alta, drenagem moderada à alta, textura moderadamente fina à moderadamente grosseira. Tais solos apresentam taxas moderadas de transmissão de água.

Os solos C quando totalmente molhados, consistem de solos contendo camadas impermeáveis que impedem o movimento descendente da água ou solos de textura moderadamente de fina à fina. Estes solos apresentam baixas taxas de transmissão de água no perfil. Já os solos D, com alto potencial de Runoff, quando totalmente molhados, consistem de solos argilosos com alto potencial de intumescimento ou com lençol freático permanentemente superficial ou com camada de impedimento superficial ou, ainda solos rasos assentados sobre estrato impermeável. Tais solos apresentam taxa de transmissão de água muito baixa.

Nesse sentido, os solos (D) da planície inundável do rio Mutum, por sua característica granulométrica (areia, silte e argila), podem apresentar, após a inundação e já no período de vazão, sedimentos mais finos carregados até as partes mais baixas do terreno da baía Sinhá Mariana, local de deposição final da água da bacia do rio Mutum.

Para Brito e Maria (2016), tendo como contexto as planícies fluviais com os mesmos tipos de solo, quando a cobertura vegetal é retirada e associada a solos frágeis constata-se maiores riscos de retenção de sedimentos, daí a importância de selecionar positivamente os tipos de usos da terra a serem praticados nessa bacia hidrográfica.

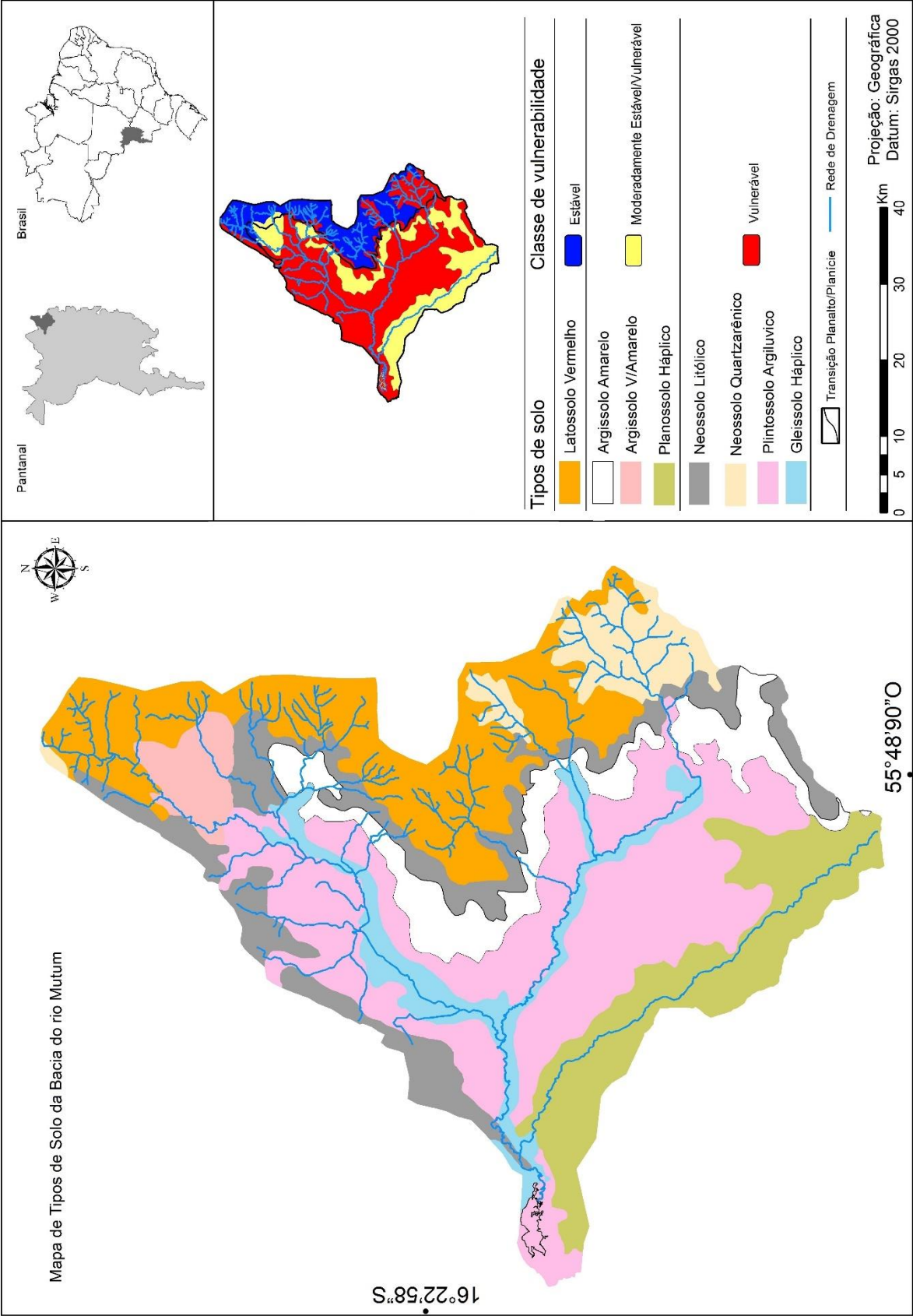


Figura 21 – Mapa de tipos de solo da bacia do rio Mutum com destaque para suas respectivas vulnerabilidades e estabilidade.

4.6 VULNERABILIDADE DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DA BACIA DO RIO MUTUM

O mapa temático de geologia se refere às formações geológicas e ao grau de coesão das rochas. Crepani et al. (2001) propõe valores de vulnerabilidade para os tipos de rochas mais comuns, considerando também que, quanto maior quantidade de água em superfície maior o número de canais de drenagem, maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial e, portanto, uma maior capacidade erosiva ou de promoção da morfogênese.

Na bacia do rio Mutum foram identificadas 11 formações geológicas (Figura 22) Cachoeirinha; Grupo Cuiabá - Subunidade Indivisa; Depósitos Aluvionares; formação Furnas; corpo Granito São Vicente; formação Pantanal - fácies depósitos aluvionares; formação Pantanal - fácies depósitos coluvionares; formação Pantanal - fácies terraços aluvionares; suíte Ponta do Morro; Grupo Rio Ivaí; e sequência Vulcânicas de Mimoso (SEPLAN, 2007).

A Formação Cachoeirinha pertence ao período do Paleógeno da era Cenozóica, com Litotipo de Argilito, Arenito e Depósito de areias, apresentando sedimentos inconsolidados e vulnerabilidade 2.4, enquadrando-se na classe moderadamente vulnerável. O grupo Cuiabá - Subunidade Indivisa pertence ao período Toriano, da era Neoproterozóica, com Litotipo de Filito e Metarenito de origem metamórfica e vulnerabilidade 2.0, considerada moderadamente estável/vulnerável. Os Depósitos Aluvionares, pertencem ao período do Neogeno, da era cenozóica, inserido num sistema fluvial anastomosado, com depósitos do tipo Barras Arenosas: dunas subaquasas, sendo os litotipos depósitos de areia e depósitos de cascalho, com vulnerabilidade 3.0 e, tida como vulnerável (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

A Formação Furnas, por sua vez, é do período devoniano inferior, da era paleozóica, de ambiente sedimentar continental e marinho, apresentando leques deltáicos e plataforma siliciclática, além de barras arenosas e fácies de praia inferior, apresentando arenito em seu Litotipo. Desta forma a vulnerabilidade da formação furnas foi considerada moderadamente vulnerável, com coeficiente 2.4 na escala (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

O Corpo Granito São Vicente, que pertence ao período cambriano da era paleozóica, tem origem ígnea, detendo os litotipos de adamelito e granito. Sua vulnerabilidade é de 1.1, considerada estável por conta de seu alto grau de coesão (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

A Formação Pantanal - fácies terraços aluvionares origina-se no período neogeno da era cenozóica, apresenta ambiente sedimentar continental em sistema sedimentar lacustre e leque aluvial, com tipos de depósitos arenosos marginais e barras arenosas, detendo os litotipos: Depósitos de argila, Depósitos de areia, Depósitos de silte, Depósitos detrítico-lateríticos, Laterita e, sua origem é química e de sedimentos inconsolidados, tendo vulnerabilidade 2,4, moderadamente vulnerável (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001), estimada em razão da sua formação, composição e grau de coesão.

A Formação Pantanal - fácies depósitos coluvionares, por sua vez, pertence ao período do neogeno da era cenozóica, com ambiente sedimentar continental, inserida em um sistema sedimentar de leque aluvial, com depósito de fluxo de detritos, de origem vulcânica e de sedimentos inconsolidados, apresentando litotipos aglomerados e depósitos de areia, tendo vulnerabilidade definida 2.5, considerada vulnerável. Nessa formação coexistem ambiente sedimentar continental e sistema de sedimentação Fluvial Meandrante com o Litotipo Barras Arenosas e, sua origem vem de sedimentos inconsolidados. Por contas dessas características a vulnerabilidade estimada nesses locais é de 2.4 ou moderadamente vulnerável (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

A Suíte Ponta do Morro, com origem no período cretáceo, da era mesozóica, tem subclasse plutônica e, sua principal rocha é de origem ígnea, cujos litotipos principais são Biotita granito, Granito alcalino. Apresenta ambiente sincolisional, de morfologia batólita, com textura intergranular e, tem relação com rochas alcalinas. Sua vulnerabilidade 1.2 foi considerada estável (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

O Grupo Rio Ivaí vem do período ordoviciano, da era paleozóica, de ambiente Continental, Marinho, com sistema sedimentar Glacial, Plataforma/Carbonático, Plataforma/Siliciclástico, e depósitos dos tipos: Barras Costeiras, Barras Litorâneas, Morena (geral), litotipos Arenito, Folhelho, Diamictito e, tem origem Clástica. Sua vulnerabilidade índice 2.4 enquadra-se como moderadamente vulnerável (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

A Sequência Vulcânicas de Mimoso vem do período cambriano, da era paleozóica, com Litotipos Riodacito, Riólito, pertencente à classe de rocha ígnea com origem vulcânica. Esta é uma rocha considerada bastante coesa e, portanto, com vulnerabilidade mais estável, tendo sido adotado o valor 1.1 (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

Com relação ao Grupo Cuiabá - Subunidade Indivisa, Grupo Rio Ivaí e, as Formações Furnas e Cachoeirinha, todas localizadas no Planalto da bacia do rio Mutum, foram consideradas entre moderadamente estáveis/vulneráveis e moderadamente vulneráveis, apresentando índices de vulnerabilidade entre 2 e 2.4. Isso sugere que as unidades geológicas no Planalto podem vir a contribuir mais com a vulnerabilidade à perda de solos da bacia do rio Mutum pelo fato de serem mais vulneráveis e, estarem próximas da escarpa que divide a unidade da Planície e do Planalto (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

Com relação as unidades Granito São Vicente, Vulcânicas de Mimoso e Ponta do Morro demonstraram ser as unidades mais estáveis da bacia do rio Mutum. O Granito São Vicente está localizado em uma área de transição Planalto/Planície o que, nesse caso, favorece a estabilidade da paisagem, ainda que com sua elevada declividade. Já a unidade Vulcânicas de Mimoso, localizada na unidade geomorfológica da Planície, contribui para a estabilidade dos processos de morfogênese. A unidade Ponta do Morro, por sua vez, localiza-se em uma área de elevada declividade, razão do seu embasamento, assim como no caso do Granito São Vicente, favorecer a estabilidade dessas unidades de paisagem, frente a morfogênese (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

Juntas, as unidades do Pantanal Fácies depósitos aluvionares e Fácies terraços aluvionares formam duas das unidades consideradas mais vulneráveis à morfogênese, por conta de sua característica de coesão e por se localizarem em uma região predominantemente inundável. A unidade Pantanal Fácies depósitos Coluvionares por sua vez, está localizada logo abaixo das escarpas que dividem Planalto/Planície, o que indica, pela sua posição, a deposição sedimentar que ocorre logo abaixo das escarpas (SEPLAN, 2007; CREPANI et al., 2001).

No entanto, a unidade considerada mais vulnerável são os Depósitos Aluvionares, posicionados principalmente sob a calha dos principais rios, Mutum, ribeirão Asa Branca e rio Corixo Grande. Ademais esta unidade se faz presente sob toda a área da baía Sinhá Mariana.

Para Fernandes et al. (2013), as condições geológicas interferem diretamente no escoamento superficial, na medida em que os terrenos mais porosos propiciam uma maior infiltração e, por conseguinte, uma maior disponibilidade de água no solo e subsolo, contribuindo para manter o nível do lençol freático.

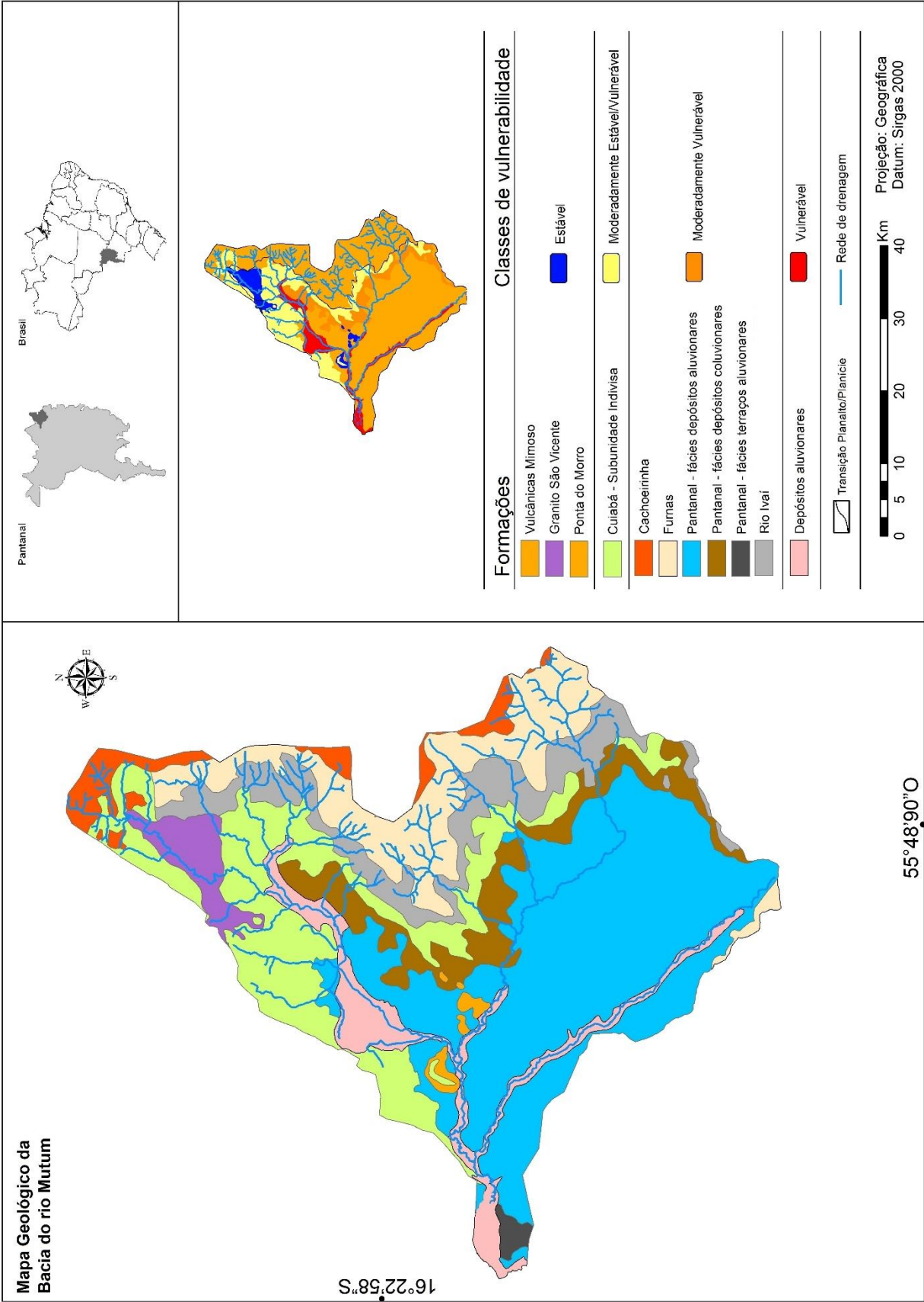


Figura 22 – Mapa geológico e respectiva vulnerabilidade das formações localizadas na bacia do rio Mutum. Fonte: SEPLAN (2007).

4.7 VULNERABILIDADE AMBIENTAL FRENTE A PROCESSOS EROSIVOS

A vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum é resultado da síntese das classes dos mapas temáticos. De forma sintética os valores de vulnerabilidade estabelecidos para cada classe e os pesos estão representados na Tabela 9 e demonstrados espacialmente na Figura 23.

Tabela 9 – Temas utilizados para análise da vulnerabilidade e respectivos pesos conferidos às classes adaptadas de Crepani et al. (2001).

Tema	Classes	Peso V. A.	Níveis de vulnerabilidade
Chuvas	Intensidade 280,85 mm Planície	2.0	
	Intensidade 380,65 mm Planalto	2.4	
Inundação	Áreas não inundáveis	1.0	
	Áreas Inundáveis	3.0	
Declividade	< 2%	1.0	
	2% - 6%	1.5	
	6% - 20%	2.0	
	20% - 50%	2.5	
	>50%	3.0	
Geologia	Sequência Vulcânicas Mimoso	1.1	
	Corpo Granito São Vicente	1.1	
	Suíte Ponta do Morro	1.2	
	Grupo Cuiabá - Subunidade Indivisa	2.0	
	Grupo Rio Ivaí	2.4	
	Formação Pantanal - fácies terraços	2.4	
	Aluvionares	2.4	
	Formação Pantanal - fácies depósitos	2.4	
	Aluvionares	2.4	
	Formação Furnas	2.4	
	Cachoeirinha	2.4	
	Formação Pantanal - fácies depósitos	2.5	
Tipos de Solo	Coluvionares	3.0	
	Depósitos Aluvionares	3.0	
	Latossolo Vermelho	1.0	
	Planossolo Háplico	2.0	
	Argissolo Vermelho Amarelo	2.0	
	Argissolo Amarelo	2.0	
	Neossolo Quatzarênico	3.0	
	Neossolo Litólico	3.0	
	Gleissolo Háplico	3.0	
	Plintossolo Argilúvico	3.0	
	Floresta Estacional Semidecidual	1.0	
	Aluvial	1.0	
Uso e cobertura vegetal	Savana Parque – Savana Florestada	1.0	
	Águas Continentais	1.5	

Tema	Classes	Peso V. A.	Níveis de vulnerabilidade
Uso e cobertura vegetal	Culturas Temporárias	2.0	
	Silvicultura	2.5	
	Pastagem	3.0	
	Áreas Descobertas	3.0	
Onde:			
Estável			
Moderadamente Estável			
Moderadamente Estável/Vulnerável			
Moderadamente Vulnerável			
Vulnerável			

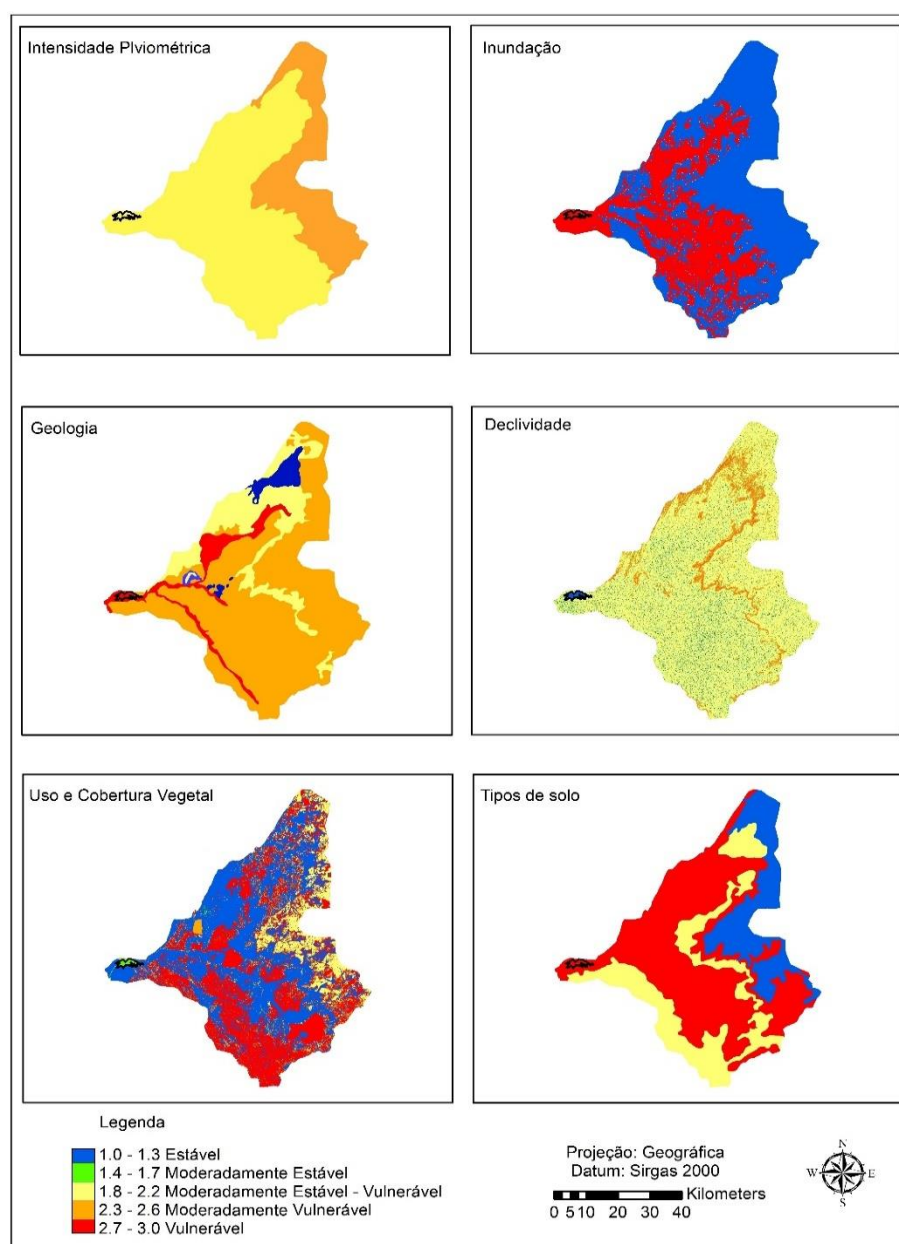


Figura 23- Mapas de vulnerabilidade por tema, utilizados para o zoneamento da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.

Com a integração dos mapas temáticos constatou-se que os resultados obtidos apontaram para uma significativa vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Mutum, variando entre os graus: estável à vulnerável. A classe estável teve uma área de 3,95 km² (pouco menos de 1%), moderadamente estável com 363,92 km² (12%), moderadamente estável-vulnerável com 2.225,44 km² (65%), moderadamente vulnerável 930,56 km² (21%) e, vulnerável 6,15 km² (menos de 1%) como demonstrado na Figura 24.

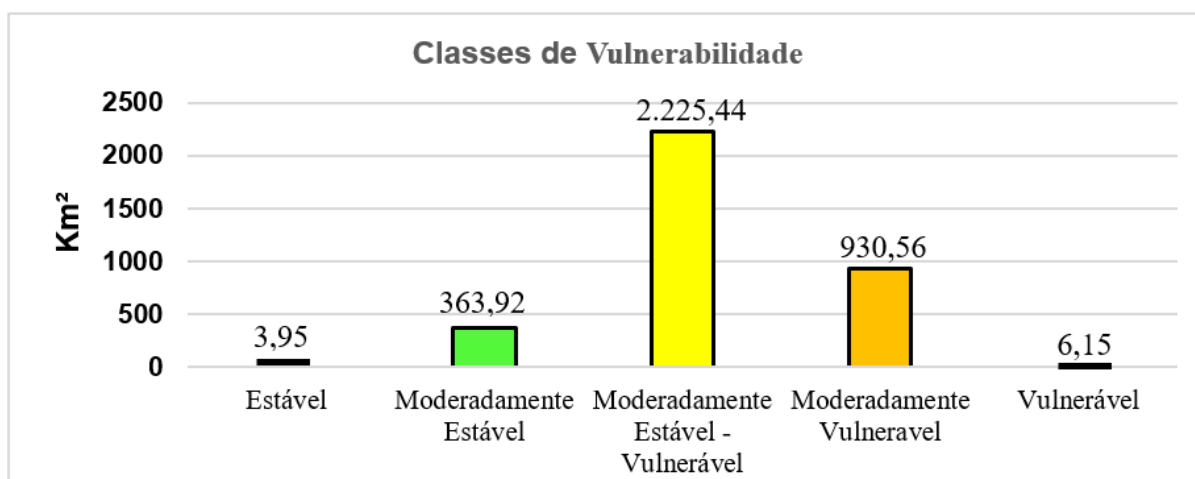


Figura 24 –Área das classes de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.

A vulnerabilidade da bacia do rio Mutum, em nenhum ponto estudado, atingiu o valor 3.0 de vulnerabilidade, embora menos de 1% de sua área esteja enquadrada na classe vulnerável, seu coeficiente de grau é de 2.7 nos locais de maior vulnerabilidade.

No Planalto, de maneira geral, a classe de vulnerabilidade à perda de solos, que ocupam a maior parte dessa unidade geomorfológica, está relacionada à classe moderadamente estável-vulnerável. Nas bordas do Planalto podem-se identificar áreas com moderada vulnerabilidade, assim como, nos locais com maior declividade do terreno constata-se também moderada vulnerabilidade. Na Planície, por sua vez, temos que a maior parte desta unidade é moderadamente estável-vulnerável, ainda que tenha sido observada moderada vulnerabilidade e vulnerabilidade nas áreas de inundação, principalmente naquelas em que o uso da terra para pecuária estão próximas aos canais dos cursos d'água (Figura 25).

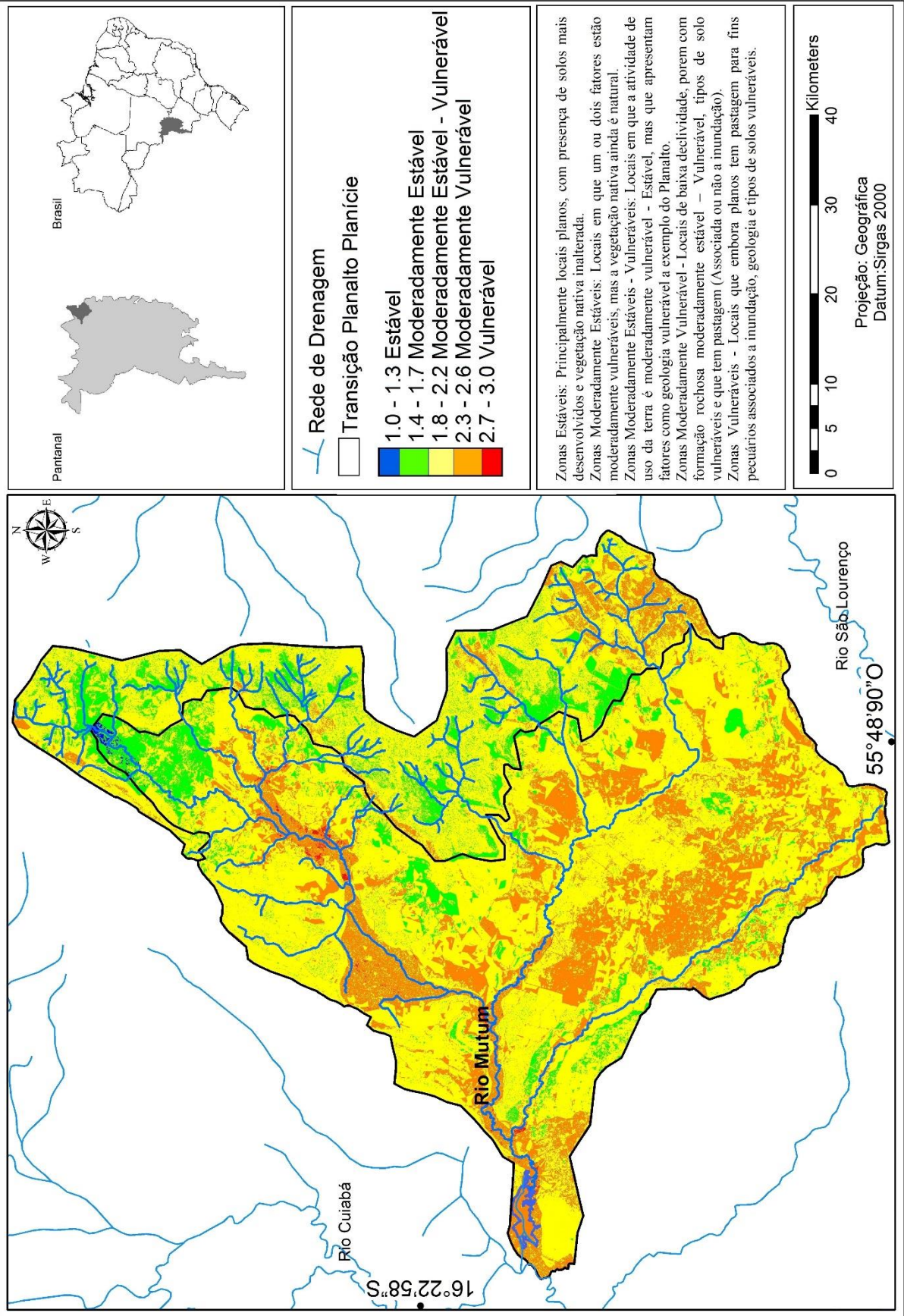


Figura 25 – Mapa da vulnerabilidade ambiental da Bacia do rio Mutum frente a processos erosivos.

Foi possível observar que no Planalto as áreas moderadamente estáveis são locais em que a conjuntura da cobertura vegetal e tipos de solo são estáveis, a geologia é moderadamente vulnerável e a declividade é moderadamente estável-vulnerável. As áreas moderadamente estáveis-vulneráveis são aquelas em que o tipo de solo é estável, a geologia é moderadamente vulnerável, a declividade é moderadamente estável-vulnerável e, a declividade é moderadamente estável-vulnerável, com o uso da terra moderadamente estável-vulnerável. Já as áreas com moderada vulnerabilidade são locais com geologia moderadamente vulnerável, tipos de solo vulneráveis, uso da terra vulnerável e, declividade moderadamente estável-vulnerável. Destaca-se que nas bordas do Planalto, onde os usos do solo são vulneráveis ou moderadamente estáveis-vulneráveis, quando próximos às áreas de transição Planalto/Planície, ficou evidenciada moderada vulnerabilidade e, em alguns pontos vulnerabilidade à perda de solos no sentido do Planalto para a Planície (Figura 26).

Na Planície, as áreas moderadamente estáveis são principalmente locais que não passam por inundação, têm cobertura vegetal estável, geologia moderadamente vulnerável, declividade moderadamente estável-vulnerável e tipos de solo vulneráveis. Os locais de moderada estabilidade-vulnerabilidade são os que passam por inundação, tem cobertura vegetal estável, geologia moderadamente vulnerável, declividade moderadamente estável-vulnerável e tipos de solo vulneráveis. As áreas moderadamente vulneráveis são as que o uso da terra é vulnerável, possuem tipos de solo vulneráveis, passam por inundação e, apresentam geologia moderadamente vulnerável.

Os locais vulneráveis são os que apresentam solo exposto, associados à inundação, tipos de solo vulneráveis e, geologia moderadamente vulnerável. Destaca-se que, em locais próximos aos canais dos rios responsáveis pela drenagem dessa bacia, principalmente na unidade da Planície, estes apresentam vulnerabilidade moderada e vulnerabilidade. Isso se deve aos tipos de solos mais vulneráveis e o uso da terra realizados sobre suas planícies de inundação. Com essa vulnerabilidade próxima às áreas de drenagem dos rios, intensifica-se os processos de transporte mais ativos e, por consequência, refletem na baía Sinhá Mariana, localizada próxima à foz da bacia e, que recebe água da rede de drenagem da bacia do rio Mutum, incluindo a água oriunda das planícies de inundação.

Nesse contexto, também se constata que a principal fonte de sedimentos para a Planície é o Planalto, em função da declividade e dos usos da terra, até porque após o desprendimento do sedimento erodido, este material é depositado na planície e em seguida, por ocasião de inundação na planície, a mesma funciona como agente de transporte desses

sedimentos para dentro dos rios e da baía Sinhá Mariana, especialmente sedimentos de menor granulometria, já que o processo de interação entre o transporte de partículas de solo para dentro dos rios é reforçado nos ambientes fluviais, na medida em que se trata de uma erosão lenta, em que as areias finas e o silte, que são mais abundantes nesses sistemas, são erodidas, sendo o encrostamento mais comum e facilmente transportado (ANDRADE, 2009).

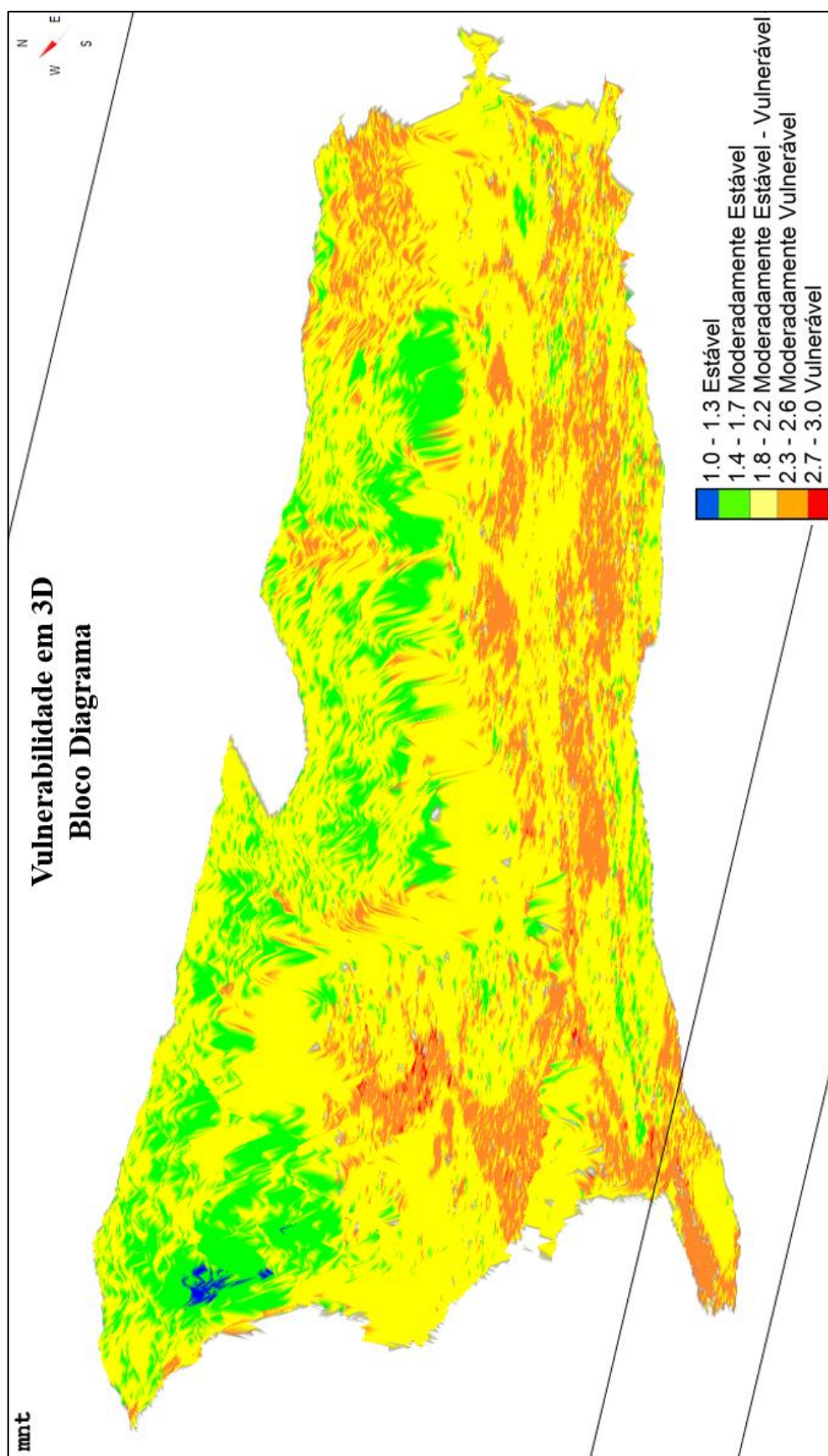


Figura 26 – Bloco diagrama demonstrando em 3d a vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum.

Considerando o tamanho da área da bacia do rio Mutum (3.530,1 km²) e a necessidade de analisar mais detalhadamente os graus de vulnerabilidade dessa bacia, a sua área total foi subdividida em 3 setores: 1 - Planalto, 2 - Planície e 3 - sistema rio Mutum-baía Sinhá Mariana. A divisão foi possível ao considerar-se as unidades geomorfológicas, Planalto e Planície, sendo a planície subdividida em duas partes: a primeira na região dos rios formadores do rio Mutum (Asa Branca e Madeira) e, a segunda representada pelo sistema rio Mutum – baía Sinhá Mariana, que traz consigo o rio Mutum e o Corixo Grande, por conta da proximidade com a foz do rio Mutum, no rio Cuiabá e, a baía Sinhá Mariana.

No **setor 1 - Planalto** (Figura 27), a atividade de plantio agrícola é a atividade mais desenvolvida, seguida pela atividade de pecuária mais ao sul do setor e, a silvicultura. De formas distintas, cada uso da terra favorece ou não a morfogênese, sendo a agricultura enquadrada na classe moderadamente estável-vulnerável. Acresce-se a isto o fato de que a agricultura é realizada sobre Latossolo, que apresenta baixo grau de erodibilidade.

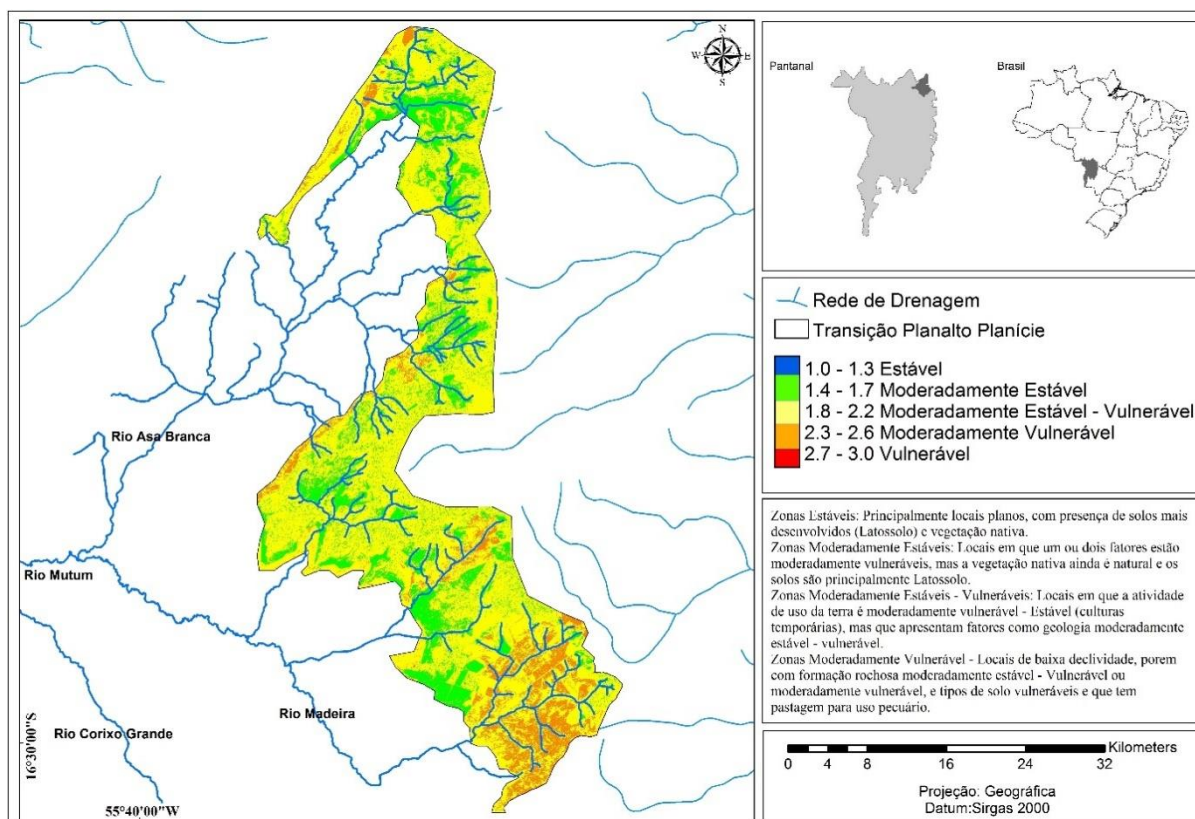


Figura 27 – Mapa de zonas de vulnerabilidade do setor 1º Planalto dos Guimarães.

Segundo Luz et al. (2016), na pecuária o processo de morfogênese é mais ativo em função da pastagem e do pisoteio do solo. Já na silvicultura, embora as árvores utilizadas na formação da cultura evitem que a água da chuva chegue com tanta velocidade ao solo, seu

caráter de composição mista, entre diversos plantios de árvores (espécies mais comuns: Eucalipto e Teca), em integração com o manejo de gado no caso da bacia do rio Mutum, implica em que seu valor de vulnerabilidade seja mais próximo da morfogênese, por se enquadrar na categoria moderadamente vulnerável. Essas afirmações tornaram-se possíveis em razão de interpretações feitas a partir dos trabalhos dos autores Santos (2005); Pereira et al. (2012); Silva et al. (2013) e, da realidade constatada em campo.

A inundação por sua vez, condicionada aos fatores geomorfológicos é estável no Planalto, já que a inundação nesta unidade não ocorre da mesma forma que no Pantanal. A declividade embora seja moderadamente estável, na maior parte do Planalto, exibe maior entalhamento nos locais onde as nascentes dos rios da bacia se encontram, o que proporciona, em alguns locais, valores de vulnerabilidade mais elevados em relação a capacidade de entalhamento dos rios.

A geologia apresentou moderada vulnerabilidade na maior parte do Planalto, exceto em locais eventuais e específicos ao norte do setor, os quais apresentam moderada estabilidade/vulnerabilidade. Os tipos de solo são, em sua maioria, estáveis por serem principalmente Latossolo bem estruturados. Entretanto, destaca-se que, nos locais onde nascem os cursos d'água, os tipos de solos são vulneráveis, especialmente ao sul deste setor onde ocorre a presença de Neossolo Quartzarênico. Os Neossolos Quartzarênicos apresentam baixa resistência à erosão hídrica, em função dos altos teores de areia e, são considerados ecologicamente muito frágeis e não recomendados para uso na prática agrícola. Desse modo, o uso inadequado desse solo leva, não raras vezes, à ocorrência de processos erosivos acelerados, geralmente irreversíveis (LUZ et al., 2016). Ainda com relação aos tipos de solos, destaca-se que os Neossolos Quartzarênicos, da bacia do rio Mutum, ocorrem principalmente nos locais em que tem início as escarpas da área de transição Planalto/Planície, o que demonstra que os processos erosivos nestes locais são mais ativos, impedindo que os solos se desenvolvam.

Destaque-se outrossim que, muito embora na maior parte deste setor a vulnerabilidade tenha sido moderadamente estável-vulnerável, nas bordas do Planalto a vulnerabilidade foi mais alta sendo moderadamente vulnerável principalmente ao sul do setor, onde a pecuária se torna mais presente e, nas bordas do Planalto, onde a declividade é mais acentuada. Isto associado à proximidade das propriedades agrícolas e pecuárias estimula, nesses locais, que a produção de sedimentos para a planície seja mais elevada em função dos processos de morfogênese. Esse resultado é semelhante aos de Lorenzo et al. (2016) que identificou

fragilidade ambiental alta nas bordas do Planalto, na região da bacia do Cabaçal (MT), tributária do Pantanal, quando a declividade é associada conjuntamente à agricultura e pecuária.

Nas escarpas a vulnerabilidade também se deve ao fato dos Neossolos apresentarem baixa resistência à erosão hídrica devido aos altos teores de areia, sendo considerados ecologicamente muito frágeis, desaconselhados para uso agrícola, na medida em que seu uso inadequado leva à ocorrência de fortes e acelerados processos erosivos, geralmente irreversíveis.

As áreas com moderada estabilidade-vulnerabilidade apresentam valores indicativos de problemas ambientais mais graves, pois seus valores de vulnerabilidade estão no limite matemático da categoria, indicando seu caráter ascendente a moderadamente vulnerável e, vulnerável em futuro previsível, agravando os problemas agradacionais do Pantanal por conta da perturbação dos usos da terra no Planalto.

Este caráter ascendente das classes de vulnerabilidade ambiental foi constatado por Ribeiro; Tocantins e Figueiredo (2015), por conta de tecnologias de manejo da terra, fator gerador de enormes prejuízos ao ambiente, impondo sempre sua tendência em direção ao aumento da vulnerabilidade, no sentido em que as propriedades se propõem cada vez mais a retirar cobertura vegetal natural das paisagens para expansão das suas atividades. Dessa forma as zonas de vulnerabilidade, de graus mais elevados, tendem a crescer na exata proporção em que se reduzem as de graus menores.

Santos e Crepani (1996), apontam que, na planície do Pantanal Matogrossense, a presença de sedimentos depositados, com 500 metros de espessura, sinaliza o processo ativo de transporte de sedimentos em curso a 2 m.a. Atualmente, a contribuição humana vem acelerando esse processo com o desmatamento e a atividade agrícola no Planalto, o que favorece a disponibilidade de massas de água mais expressivas em superfície, agravando fortemente os processos erosivos. Neste sentido, uma das maiores preocupações com a conservação do Pantanal diz respeito à perda de solos, que ocorre principalmente no sentido Planalto/Planície, vez que a presença de feições erosivas tem sua gênese em fatores naturais e também antrópicos, com estes últimos favorecidos pelas mudanças no uso e ocupação das terras (ANDRADE et al., 2016).

Na bacia do rio Mutum os processos erosivos também se apresentam em locais de Planalto, espaço em que o embasamento rochoso mais vulnerável é associado à declividade

dos canais dos rios, de cabeceiras sob utilização pecuária. Muito embora no Planalto a principal atividade econômica esteja centrada no plantio de grãos, nesta bacia em estudo os locais de atividade pecuária apresentam-se mais vulneráveis à perda de solos, na medida em que a perda de solos, gerada pela produção agrícola, pode ser menor que a oriunda da atividade pecuária, já que no sul do estado de Mato Grosso o plantio direto é utilizado na maioria das propriedades, o que implica na manutenção da umidade no solo, bem como o aumento de proteção das partículas de solo sob ação das precipitações de chuva nas palhadas no campo.

A vulnerabilidade à perda de solos é, em grande parte, potencializada pela declividade como exposto acima, pela cobertura vegetal e, usos da terra. Ao longo dos rios a distribuição da vulnerabilidade é em grande parte controlada pela variação dos processos geomorfológicos fluviais tais como ciclos de degradação e assoreamento (CASCO et al. 2005).

Os estudos realizados em bacias hidrográficas demonstram que os agentes mais representativos na vulnerabilidade, em alguns pontos, estão relacionados com o substrato rochoso, tipos de solo e declividade, mesmo nos locais em que a cobertura vegetal tenha sido relativamente estável (GOMES, 2013).

No caso da bacia do rio Mutum no **setor 2 Planície** (Figura 28) a declividade é mais acentuada somente nos morros alinhados a oeste e, no fim da zona de transição Planalto/Planície a leste. Nesses locais, por conta de apresentarem-se mais acidentados, o uso da terra, para fins econômicos se impõe, com a cobertura vegetal considerada estável. Para Klais et al. (2012), a vulnerabilidade ambiental se explica pelo conjunto de características que constituem a paisagem, embora destaque que alguns elementos são normalmente interpretados como mais importantes no contexto geral, a exemplo da declividade que em poucos casos é estável.

Embora, ainda se tenha muitas áreas de cobertura vegetal nativa e estável na bacia do rio Mutum, a pecuária é um fator que gera vulnerabilidade ambiental gradativa e constante, em razão do baixo grau de coesão das rochas e, por conta dos solos hidromórficos, o que aumenta a vulnerabilidade em muitas áreas deste setor, que se enquadra no grau de moderadamente vulnerável.

Para os locais em que a cobertura vegetal é estável a vulnerabilidade à inundação foi considerada moderadamente estável/vulnerável. Desta forma, na região pantaneira, fica demonstrado que as características da paisagem não podem ser encaradas isoladamente,

fazendo-se necessário investigar o substrato rochoso e, os tipos de solo, para que no futuro se possa pensar em medidas mitigadoras de dano. Ao sul do setor **2° Planície** pode-se ainda destacar o fato de que nos locais com elevada declividade (morros), quando a cobertura vegetal é estável, a geologia e os tipos de solo são estáveis e, a paisagem pode ser moderadamente estável.

Há um local ao norte do setor (em azul) que representa a classe de grau estável. Isso se deve ao fato de que, embora a declividade seja moderadamente vulnerável, a geologia, o uso da terra e as inundações são estáveis e, os tipos de solo apresentam-se moderadamente estável-vulneráveis, configuração esta que conferiu este lugar de estabilidade ao espaço.

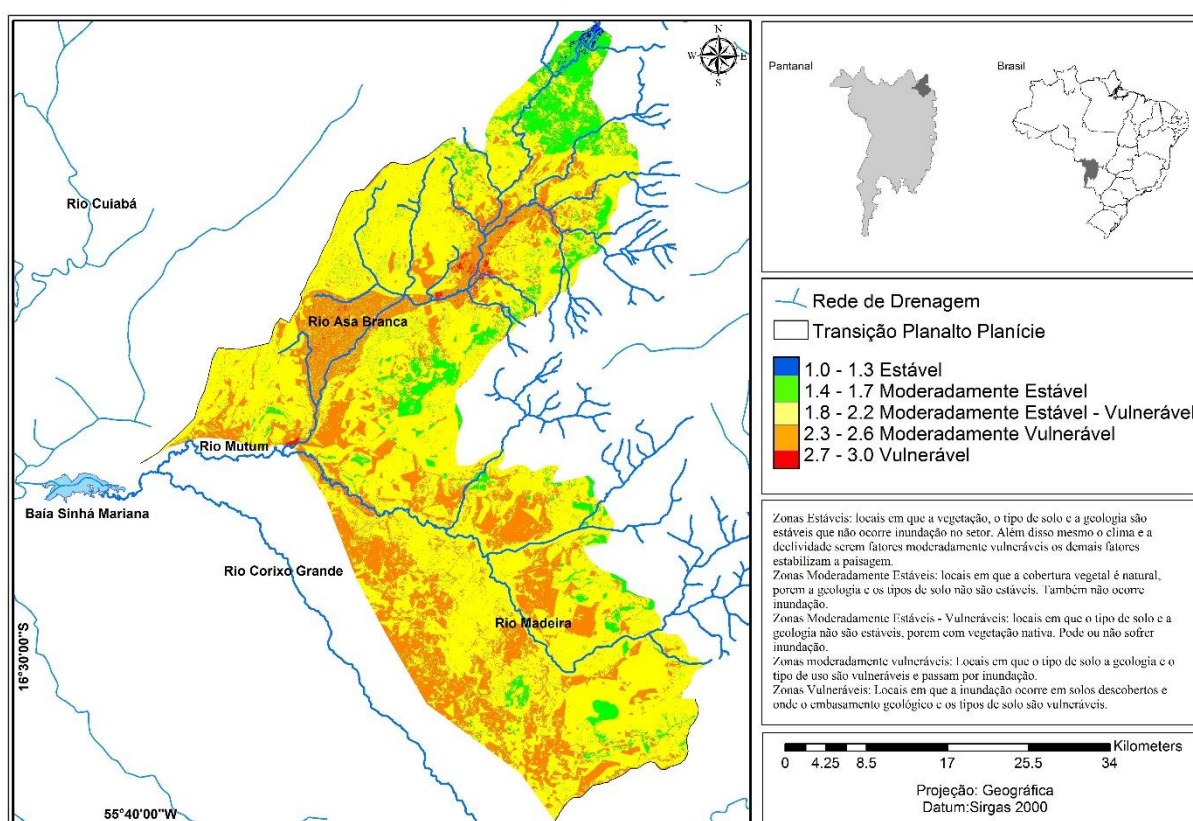


Figura 28 - Mapa de zonas de vulnerabilidade do setor 2° Planície do Pantanal.

O **setor 3 sistema rio Mutum-Baía Sinhá Mariana** (Figura 29), por sua vez, apresenta sua vulnerabilidade condicionada principalmente pelos usos da terra, geologia, tipos de solo e inundação. Este setor, tem os graus de vulnerabilidade oscilando entre moderadamente estáveis e vulneráveis. As áreas moderadamente vulneráveis e vulneráveis têm certa homogeneidade, conforme demonstrado no mapa de uso da terra e cobertura vegetal, já que nestas áreas acontece a incidência de pastagens.

Para Duarte Jr. e Santos (2014), as pastagens da região da bacia do rio Mutum apresentam alta a muito alta sensibilidade em áreas de Planalto e morros, ocupando as cabeceiras das sub-bacias. Já as pastagens no Pantanal, durante a seca, apresentam baixa a muito baixa sensibilidade, mas por outro lado, na cheia, a sensibilidade é muito elevada nesses sistemas de inundação, corroborando resultados obtidos neste estudo.

As áreas moderadamente estáveis/vulneráveis desse setor são principalmente condicionadas pela cobertura vegetal, que confere um certo grau de estabilidade à paisagem. Todavia as áreas de moderada vulnerabilidade estão mais próximas aos rios Mutum e Corixo Grande e, também na baía Sinhá Mariana, em função das pastagens sob regime de inundação.

Para Abbasov e Smakhtin (2012), a vulnerabilidade de um ecossistema de rio é definida por efeitos combinados de pressão, como a retirada de água, poluição, impacto da mudança climática sobre a variabilidade do fluxo e, uso inadequado da terra. Este último fator é um dos que sustentam a tese, de que quanto mais próximo dos rios e de suas planícies de inundação, mais representam vulnerabilidade ambiental e, portanto, mais riscos a esse ecossistema, no que se refere à produção de sedimentos, já que a cobertura vegetal, quando alterada ou removida, implica em áreas de rios muito mais susceptíveis à erosão superficial, por força da remoção das raízes, que de outro modo estabilizariam a coluna de solo.

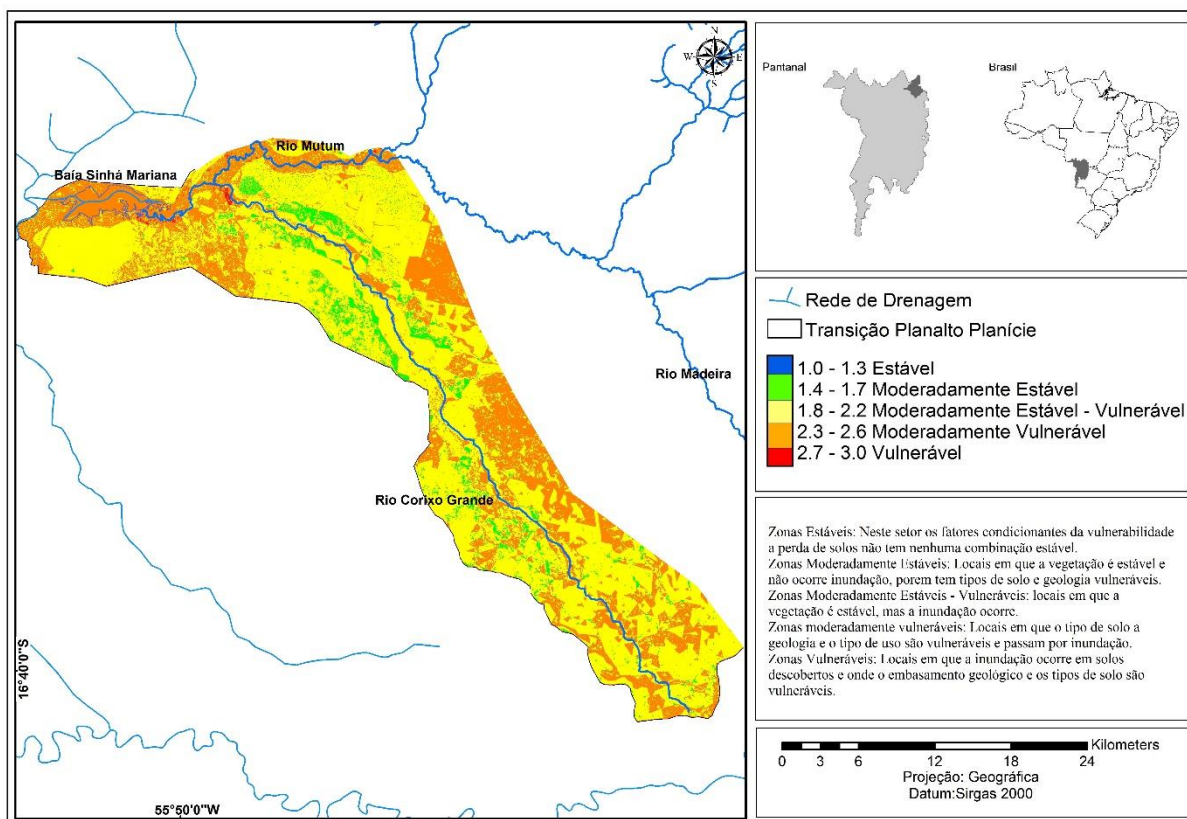


Figura 29 – Mapa de zonas de vulnerabilidade do setor 3º Rio Mutum/baía Sinhá Mariana.

Na bacia do rio Mutum, a ocorrência de zonas de moderada vulnerabilidade e vulnerabilidade nas proximidades dos rios é preocupante, na medida em que o fluxo de inundação, associado à reduzida cobertura vegetal, ocasionada pela atividade pecuária, contribui para os processos de transporte sedimentar. Também cabe destacar que os tipos de solo desse setor, a exemplo de Planossolos e Gleissolos têm de média à alta vulnerabilidade e, quando inundados sua vulnerabilidade se soma à inundação e solos vulneráveis, aumentando, pois, a alta concentração de argila desses solos, o que permite facilmente ser carregada pela ação da água (LEITE; LEITE, 2016).

Os graus de vulnerabilidade por si só, não representam necessariamente a velocidade de retirada dos sedimentos do solo e seu transporte, mas indica a potencialidade de uma localidade ser mais ou menos sujeita a erosão. Para Pupim et al. (2015), na bacia do rio Cuiabá, onde a bacia do rio Mutum se insere como uma das principais bacias tributárias em extensão e volume de água, as taxas de erosão demonstram que a ação da erosão é lenta, condicionada pelo fato da declividade ser baixa e com isso apresentar uma velocidade menor de escoamento da inundação.

No setor 3º, Setor rio Mutum – Baía Sinhá Mariana, a geologia foi um dos fatores mais importantes para a definição da vulnerabilidade ambiental verificada nessas áreas, vez que, a formação geológica (depósitos Aluvionares), abaixo dos canais dos rios Mutum e Corixo Grande, é vulnerável, delineando a vulnerabilidade nos cursos dos rios. A vulnerabilidade próxima aos canais dos rios também se explica pela da proximidade da pastagem para uso pecuário ao longo do canal dos rios (Figura 30).



Figura 30 – Pastagem na margem do rio Mutum.

Ao analisar os três setores, temos de um lado, que o principal produtor de trato sedimentar para as planícies são os Planaltos em função do uso da terra, declividade e, em algumas áreas tipos de solo. Por outro lado no Pantanal-Planície temos que, embora a declividade seja baixa, o agente de inundação quando associado a solos, geologia e usos vulneráveis da terra pode conduzir a processos erosivos.

Os rios das áreas úmidas (AUs) com pulso monomodal previsível e, com alta amplitude, são diretamente influenciados pela subida e descida do nível fluviométrico, recebendo água e sedimentos das planícies de inundação, fato que os tornam largamente influenciados pelos processos de erosão e transporte (CUNHA et al. 2015). Paralelo a isso Zani et al. (2015), ao estudar a formação de diques marginais, demonstrou que as flutuações no nível de base, do assoreamento e, colmatação, desempenham um papel importante nos processos de avulsão, responsáveis pela dinâmica de construção e subsequente abandono diques de deposição.

Considerando que todos os processos erosivos de transporte e deposição são interligados em função de uma conjuntura de fatores na bacia do rio Mutum e, ainda entendendo que o fluxo de quase toda a água da bacia do rio escoar em direção a baía Sinhá Mariana, estima-se que os processos de impacto ambiental, gerado pela ação antrópica, seja um dos principais fatores do assoreamento da baía Sinhá Mariana (Figura 31).

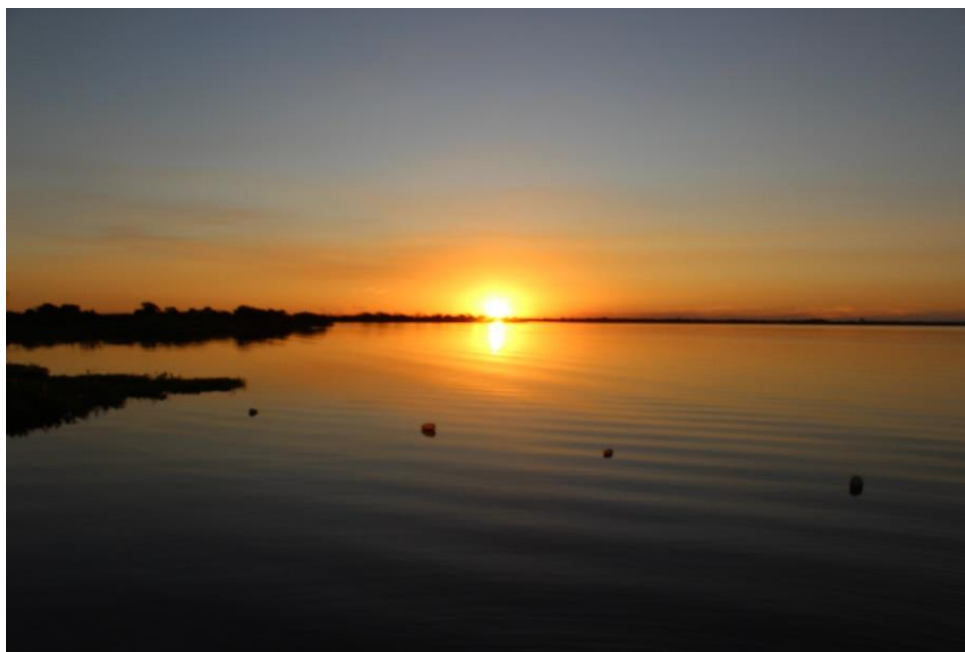


Figura 31 – Baía Sinhá Mariana. Da autora (2016).

4.8 HIDROSSEDIMENTAÇÃO E VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001), realizada nesse trabalho, inclui a inundação na análise de vulnerabilidade ambiental visando a aplicação dessa metodologia para o Pantanal, por entender que a inundação tem relação direta com o processo erosivo e, especialmente de transporte de partículas para dentro dos cursos d'água. Desta forma, as análises e resultados hidrossedimentológicos e topobatimétricos visam demonstrar a relação entre perda de solo, com os processos de transporte e deposição de sedimentos na baía Sinhá Mariana próximo a foz do rio Mutum.

No caso do Pantanal, são poucos os estudos objetivando estimar o potencial de deposição sedimentar na calha dos rios ou mesmo em lagos e na baía. Além disso, a falta de séries históricas de vazão sólida e líquida dificulta estimar uma projeção de assoreamento ou a relação do assoreamento com a vulnerabilidade (SOARES, SOARES, ASSINE, 2003; ZANI et al., 2009; ZANI; ASSINE e McGLUE, 2012; SILVA et al., 2013). Desta forma, os resultados aqui apresentados são pontuais e visam caracterizar a situação atual da baía Sinhá Mariana e do rio Mutum para que, futuramente estes dados permitam ajudar a compreender e prever a deposição de sedimentos nessa bacia hidrográfica, ao demonstrar a influência da vulnerabilidade ambiental diagnosticada neste estudo sobre os processos de transporte de sedimentos.

A análise granulométrica de partículas sólidas implica na determinação do tamanho desses materiais, bem como a frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho em diversos ambientes, entendendo que os diferentes processos fluviais influenciam no tamanho dos grãos. Dessa forma, a carga de fundo, juntamente com a carga suspensa, é extremamente importante nos processos fluviais, bem como seu conhecimento é imprescindível no gerenciamento de um rio. Tal combinação monitora a morfologia e o padrão do canal, as características da planície de inundação, além de interferir na ecologia e no uso da água fluvial. Destaque-se que, sólidos carregados refletem, por exemplo, problemas como a erosão gerados pelo mau planejamento do uso da terra e dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica (BRAGA, 2013).

No Pantanal, com os ciclos de cheia e seca, o sistema hidrográfico recebe parte da carga líquida e sólida das planícies, transportadas em seguida pelos rios, o que, conforme verificado por Silva et al. (2013), no período de estiagem resulta na deposição de sedimentos arenosos nos canais e de sedimentos finos na planície de inundação. Tais processos caracterizam o comportamento do sistema.

No caso da bacia do rio Mutum, salienta-se primeiramente que os sedimentos vindos do Planalto são depositados nos rios ou ao longo da planície, os quais, em decorrência das cheias e direção de fluxo d'água, têm seu transporte intensificado, podendo ser depositado nos canais e rios mais a jusante, bem como na baía Sinhá Mariana, local de convergência da água da bacia do rio Mutum e deste em direção ao rio Cuiabá.

A baía Sinhá Mariana representa a um alargamento do rio Mutum e se caracteriza como um sistema semi-lêntico em determinadas regiões e lântico em outros. A baía Sinhá Mariana deságua no rio Cuiabá, tendo conexão com a baía de Chacororé durante todo o ano, através de corichos, o que significa que recebe água, não só do rio Mutum e de sua planície de inundação, como também do sistema baía Chacororé-Sinhá Mariana. Desta forma, temos um cenário único, no qual, em decorrência do nível fluviométrico do rio Cuiabá, a água e sedimentos deste curso d'água podem entrar na baía Sinhá Mariana através do corricho da baía de Chacororé. Salienta-se que a direção do fluxo principal da baía Sinhá Mariana é de oeste para leste, apresentando em suas margens comportamento mais lântico e no centro comportamento lótico de rio (CRUZ; OLIVEIRA e GIRARD, 2008).

Os parâmetros morfométricos descritos na Tabela 10, embora não forneçam a progressão do assoreamento na baía Sinhá Mariana por falta de uma série histórica de dados, permitem fazer uma comparação com os dados de Pinto-Silva (1980) descrito por Cruz; Oliveira e Girard (2008).

Este autor realizou no período de seca uma topobatimetria na baía Sinhá Mariana e, embora utilizando metodologia distinta, seus dados demonstraram que naquela baía em 1980 a profundidade máxima na seca era de 4,75 m. Dados mais atuais (2015) indicam que, para a mesma região da baía, a profundidade máxima é de 1,65 m no período de seca (Figura 16 e Tabela 10). Nesse sentido, resta demonstrado indícios de deposição de sedimentos formando uma camada de aproximadamente 2,35 m na região onde ocorrem as maiores profundidades.

A dinâmica de deposição de sedimentos é um processo natural que pode ter sido potencializado pelos usos antrópicos nas áreas de inundação do rio Mutum e baía Sinhá Mariana, expressos pelo mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia (Figura 32). No trabalho de Silva et al. (2013) é apontado que as pastagens interferem fortemente na conservação dos rios e baías do Pantanal, ao identificar camadas recentes de sedimentos depositados nas margens, em tamanhos muito maiores que as camadas mais antigas, quando inexistia proximidade das pastagens com os canais de drenagem.

Tabela 10 – Parâmetros morfométricos da baía Sinhá Mariana, no período de seca e cheia de 2015 e 2016, respectivamente.

Parâmetros morfométricos	Seca	Cheia
Área (km ²)	10.40	10.40
Comprimento (km)	8.14	8.14
Largura média (km)	1.50	1.50
Profundidade média (m)	1.0	3.5
Profundidade máxima (m)	1.65	4.80
Profundidade mínima (m)	0.10	2.00
Volume (m ³)	1 410 9442.5	115 574 184.5

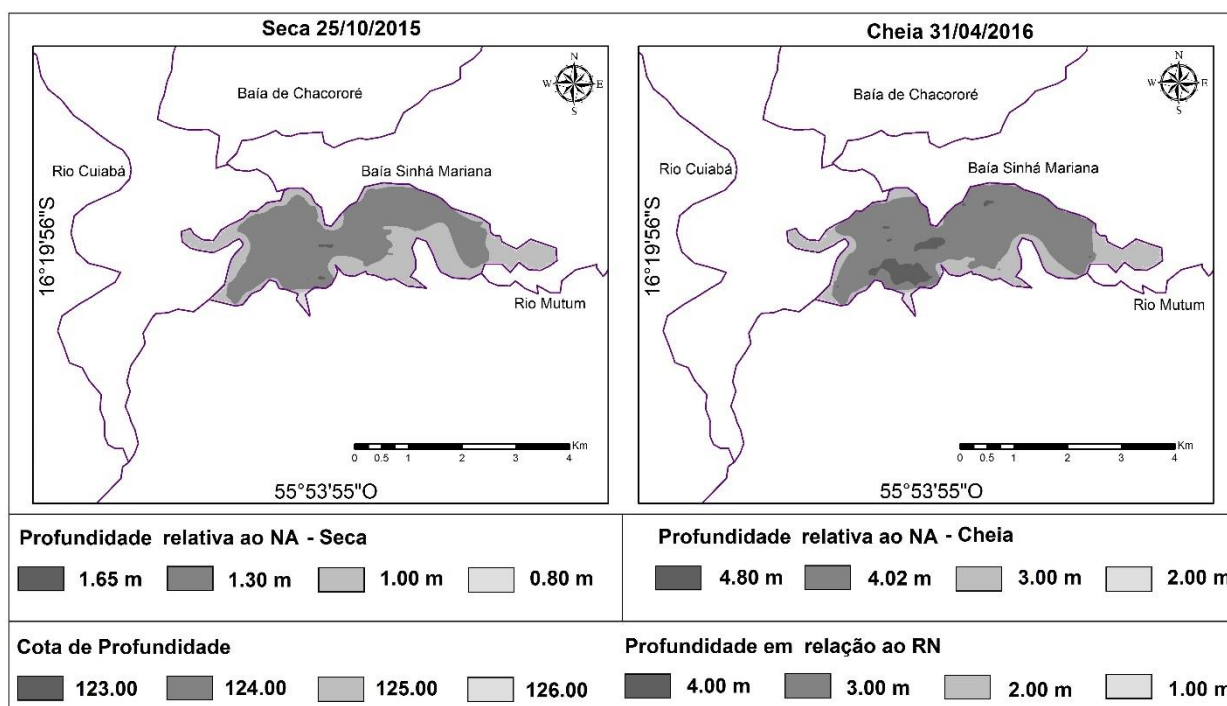


Figura 32 – Mapas topobatimétricos da baía Sinhá Mariana nos períodos de seca e cheia, em que NA refere-se ao nível da lâmina d'água, RN ao marco de referência e, as cotas de profundidade correspondem à profundidade das cotas em relação ao RN.

A baía Sinhá Mariana é um sistema peculiar, na medida em que o arranjo morfológico e o tipo de conectividade determinam trocas permanentes de matéria orgânica e inorgânica entre os sistemas rio-lagoas, além disso, ocorrem entradas de material alóctone proveniente da planície de inundação por ocasião da enchente. Embora sejam registradas nessas lagoas, reduzidas concentrações médias de material em suspensão, sabe-se que o processo é

intensificado durante a enchente. Assim, essa fase hidrológica garante o aumento nas concentrações de material em suspensão que se depositam nas lagoas após o estabelecimento de menores fluxos d'água por ocasião do represamento da água na planície (CRUZ; OLIVEIRA e GIRARD, 2008).

Os resultados da topobatimetria sugerem que houve progressão do assoreamento da baía, o qual pode ter sido acelerado em função dos usos da terra, desenvolvidos na planície inundada da bacia do rio Mutum e do Planalto, com os resultados das demais análises de vazão líquida, sólida e granulometria de fundo, corroborando essa indicação.

Assim, a afirmação de que a inundação propicia erosão lenta no sentido de que a velocidade do escoamento está diretamente condicionada à declividade e, por consequência, os grãos transportados por este agente são de granulometria fina (PUPIM et al., 2015). Com base nessa afirmação, os dados de granulometria de fundo confirmam a relação existente entre a inundação e a vulnerabilidade ambiental frente aos processos erosivos, pois os sedimentos encontrados no fundo da baía Sinhá Mariana mostram-se finos e, em sua maioria silte e argila. Entende-se por silte e argila todos os sedimentos que passam pela peneira de 0,125 mm, como demonstrado pela (Tabela 11).

Tabela 11 – Diâmetro das peneiras e tipos granulométricos.

Diâmetro das peneiras (milímetros)	Denominação
4,0	Cascalho muito fino
2,0	Cascalho muito fino
1,0	Areia grossa
0,710	Areia grossa
0,600	Areia grossa
0,500	Areia grossa
0,425	Areia média
0,355	Areia média
0,250	Areia fina
0,125	Areia muito fina
> 0,125	Silte - Argila

A figura 33 demonstra a distribuição espacial das concentrações de silte e argila na baía Sinhá Mariana, onde se pode verificar que, quando do alargamento do rio Mutum e formação da baía, há maior concentração de areia e menores de silte e argila. Já quando ocorre a redução da velocidade do fluxo d' água ocorre deposição das partículas de silte e argila principalmente nas porções centrais e oeste da baía Sinhá Mariana.

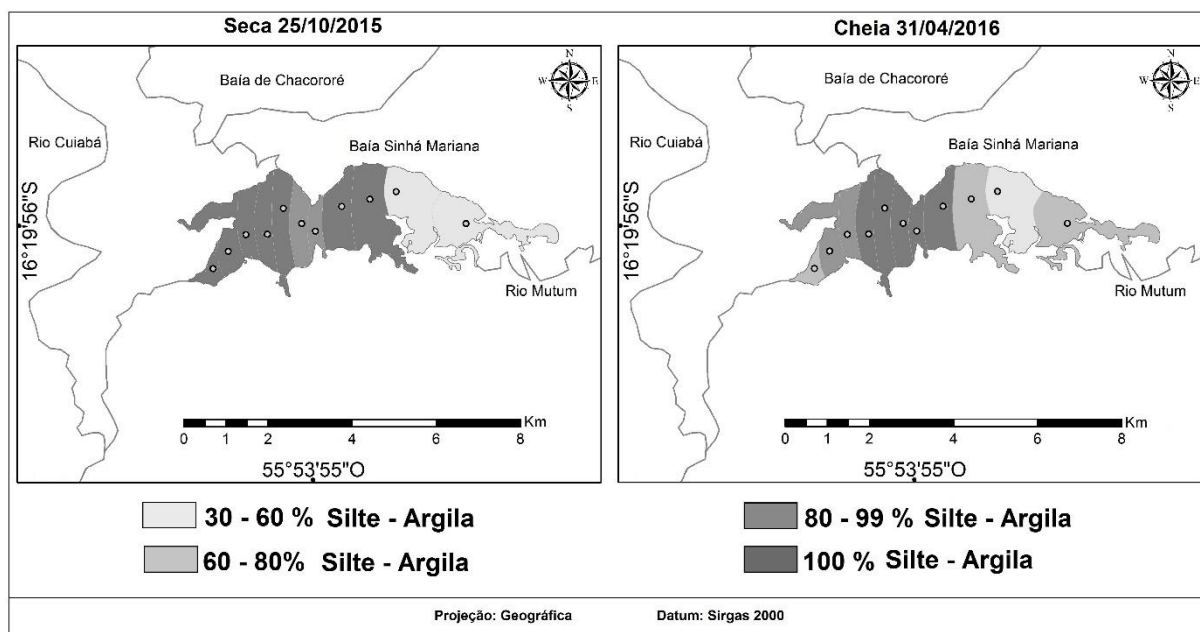


Figura 33 - Distribuição espacial dos grãos mais finos de fundo da baía Sinhá Mariana nos períodos de seca e cheia.

Essa distribuição espacial dos grãos indica o potencial de transporte do rio Mutum, já que, quando ocorre seu alargamento e formação da baía as frações maiores e mais pesadas se depositam e, as mais finas vão se depositando gradualmente ao longo da baía. Na cheia quando a água cobre toda a planície e, o rio tem maior potencial de escoamento, há um aumento nas frações de outros tipos de grãos, que não os de silte e argila, conforme as curvas granulométricas (Figuras 34 e 35).

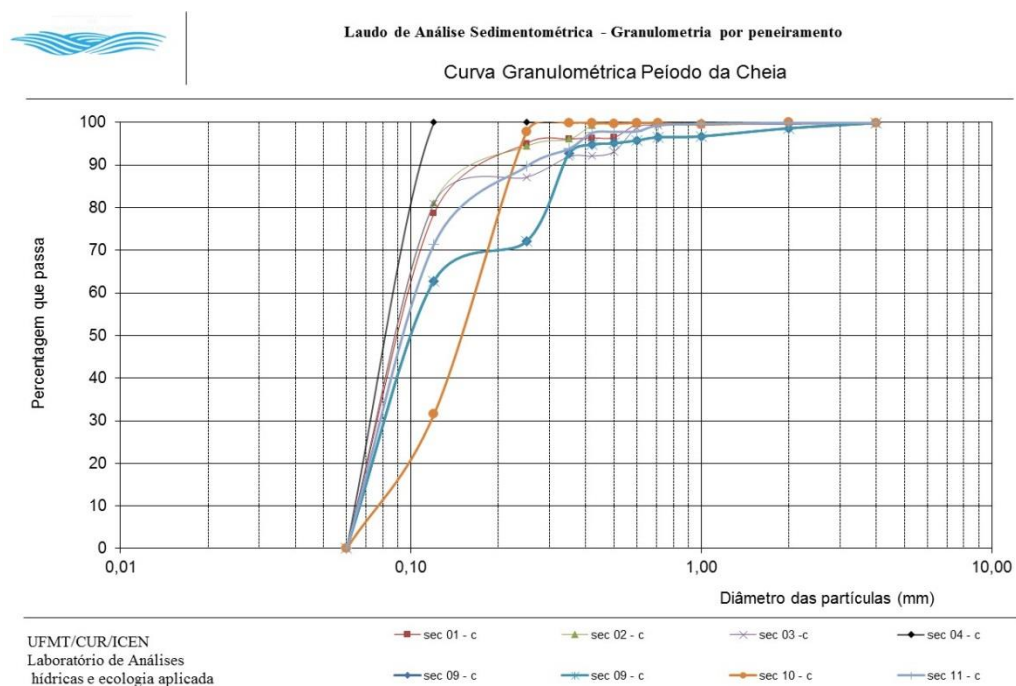


Figura 34 – Curva granulométrica dos sedimentos analisados na cheia, sendo que as seções que não aparecem integralizadas no gráfico não foram inseridas porque a granulometria foi 100% areia muito fina-silte-argila.

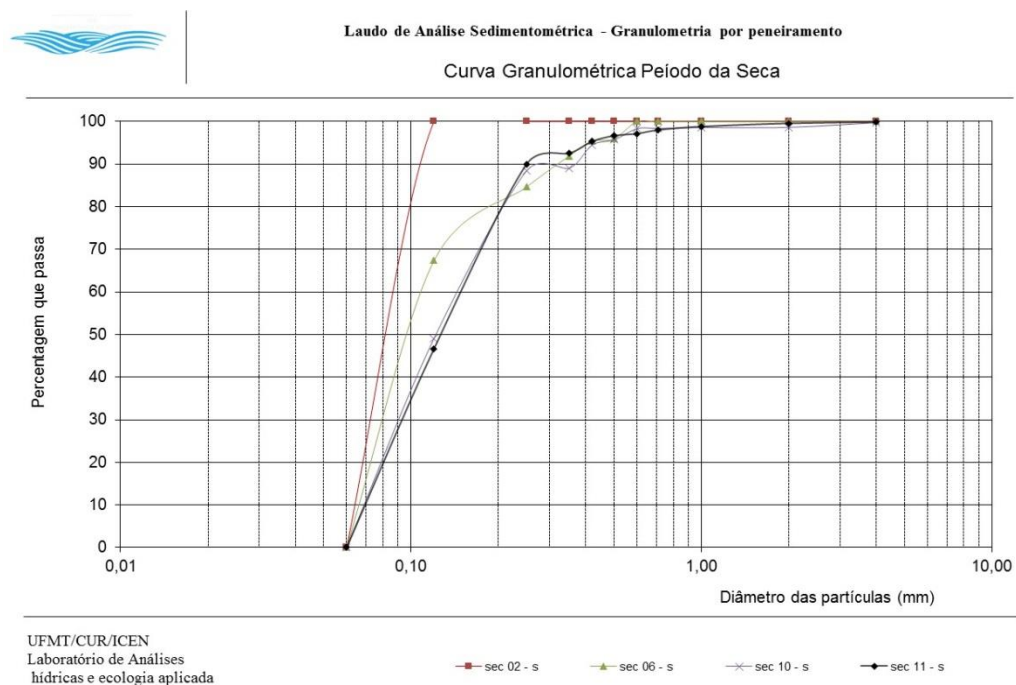


Figura 35 - Curva granulométrica dos sedimentos analisados na seca, sendo que as seções que não aparecem integralizadas no gráfico não foram inseridas porque a granulometria foi 100% areia muito fina-silte-argila.

Silva et al. (2008), ao analisarem a composição granulométrica dos sedimentos de fundo ao longo do perfil longitudinal do rio Paraguai concluíram que as amostras possuem grande homogeneidade textural. As exceções restringem-se a áreas sujeitas à dragagem com influência antrópica. Nesse sentido, as atividades econômicas desenvolvidas, direta ou indiretamente próximas ao canal do rio Paraguai, podem interferir na concentração e distribuição textural dos sedimentos de fundo, caso da baía Sinhá Mariana.

Os estudos de Leandro; Souza e Nascimento (2014) demonstraram que no corredor fluvial do rio Paraguai, na região de Cáceres (MT) e, na baía Comprida que tem comportamento e mecânica fluvial semelhantes à baía Sinhá Mariana, quanto mais argila na composição dos sedimentos de fundo, maior sua relação com o uso da terra sobre os processos de assoreamento, demonstrado pelo fato de que há uma maior disponibilidade de sedimentos quando o uso da terra interfere na cobertura vegetal. Desta forma, quando a cheia ocorre em locais em que os sedimentos são mais finos, como nas planícies e, os sedimentos de fundo de rio também se apresentam menores, prova que há uma relação entre sedimentos finos e ação antrópica em locais de planície com rios de canais meandrantess.

Com relação aos dados de vazão líquida e sólida em suspensão obtivemos os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Vazão líquida e sólida em suspensão do rio Mutum, obtidas em 2015 e 2016 nos períodos de seca e cheia.

Rio Mutum	Período	Largura	Área	Descarga líquida	Descarga sólida total
16/10/2015	Seca	46 m	105,84 m ²	8,22 m ³ /s	3,99 t/dia
23/10/2015	Seca	48 m	111,67 m ²	4,19 m ³ /s	1,19 t/dia
31/03/2016	Cheia	60 m	202,98 m ²	118,75 m ³ /s	57,66 t/dia

No período de seca é menor o transporte de sólidos, com os maiores valores de sólidos ocorrendo na cheia, em função das variações da vazão. O rio Mutum apresenta capacidade de transporte de sólidos totais em torno de 57,66 t/dia e, considerando o que diz a literatura (Buarque, 2016), cerca de 35% dos sedimentos transportados na cheia em rios de planície, são oriundos de suas respectivas planícies, o que totaliza 20,18 t/dia de sólidos totais que podem ter origem na planície, carregados para o rio Mutum. Essa interpretação se baseia em Buarque (2016), quando descreveu que, além da dinâmica de sedimentos dos rios, é importante considerar que boa parte dos sedimentos carregados nos trechos dos rios é fruto da sua

interação com sua planície de inundação, já que as mesmas armazenam sólidos em suspensão que serão transportados na cheia.

Considerando então a vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum e, os indicativos morfométricos da baía Sinhá Mariana, é possível afirmar que a vulnerabilidade na área dos principais cursos hídricos da bacia está gerando maior aporte de sedimentos para a baía Sinhá Mariana, influenciado na aceleração do processo de assoreamento, demonstrando assim, que as atividades econômicas quando praticadas desrespeitando a vulnerabilidade destas áreas acarretam impactos expressivos para esse sistema.

5 CONCLUSÕES

A aplicação do cálculo adaptado de Crepani et al. (2001) para zoneamento da vulnerabilidade ambiental utilizado neste estudo é inédito para o Pantanal Matogrossense. Foi de fundamental importância a adaptação realizada ao se incluir o tema inundação, já que este processo tem relação com o transporte de sedimentos tanto nas planícies alagáveis quanto nos sistemas fluviais, os quais são submetidos as variações sazonais dos níveis fluviométricos durante o pulso de inundação. O cálculo de vulnerabilidade ambiental posteriormente poderá orientar na definição de um modelo de avaliação da erosividade dos solos com consistência para aplicação na área pantaneira.

O mapa síntese de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum incluiu áreas do Pantanal e áreas elevadas no Planalto no entorno dessa planície alagável. Este mapa foi gerado a partir do mapeamento e compilação de seis temas, os quais foram trabalhados dentro de uma escala disponível, porém se mostraram eficientes para avaliação da relação de campo.

Os locais avaliados como mais vulneráveis na bacia do rio Mutum foram efetivamente associados aos usos da terra e às práticas socioeconômicas, especialmente quando estes usos são reproduzidos sobre unidades vulneráveis. Embora na bacia do rio Mutum tenha havido distintos graus de vulnerabilidade ambiental amplamente apresentados neste estudo, o mapa síntese estabeleceu um panorama geral que permitiu avaliar e relacionar os graus de vulnerabilidade no Planalto/Planície com os usos da terra nas propriedades agrícolas ou pecuaristas, especialmente nas áreas mais próximas das escarpas onde a declividade foi considerada um dos fatores fundamentais para o aumento da vulnerabilidade. E no setor da planície do Pantanal, onde ficou evidente que a combinação da inundação, com solos menos estruturados ou hidromórficos e sobre formação de Terraços Fluviais, os usos como a pecuária aumentam a vulnerabilidade aos processos erosivos e de transporte sedimentar.

Os tipos granulométricos e sua forma de deposição na baía Sinhá Mariana seguiram um padrão semelhante a outros sistemas lenticos da planície do Pantanal, sujeitos as modificações impostas pela inundação.

Embora não haja uma série histórica de dados, os resultados da morfometria da baía Sinhá Mariana sugerem que tem havido um progressivo assoreamento deste sistema. Assim, a morfometria atual, o tipo de distribuição espacial granulométrica na baía Sinhá Mariana e o transporte de sólidos totais demonstraram fortes indícios de que os usos inadequados da terra têm contribuído para acelerar a dinâmica natural de assoreamento desse lago raso da planície de inundação do Pantanal Norte.

Resumidamente, a análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Mutum deixou evidente que as perdas de solo por erosão podem ser intensificadas se não forem respeitadas as medidas de manejo de usos adequados a realidade de cada local. O transporte de sedimentos tanto na Planície quanto no Planalto adjacente pode contribuir para mudanças nos sistemas fluviais devido a sedimentação acarretando assoreamentos, bem como comprometer os diferentes usos da água e da terra nessas duas unidades geomorfológicas.

Considerando sua importância e as recentes discussões a cerca das melhores estratégias para a conservação dessa área úmida, certamente o conhecimento a respeito dos graus de vulnerabilidade frente aos processos erosivos servirão como base para planos de gestão dessa região que visem gerenciar e mitigar impactos oriundos de usos inadequados da terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASOV, R. K.; SMAKHTIN, V. U. Indexing the Environmental Vulnerability of Mountain Streams in Azerbaijan. *Mountain Research And Development*, v. 32, n. 1, p.73-82, fev. 2012. **International Mountain Society (IMS) and United Nations University**. <http://dx.doi.org/10.1659/mrd-journal-d-11-00012.1>.

AB'SÁBER, A. Brasil: Paisagens de exceção: O litoral e o Pantanal Mato-Grossense patrimônios básicos. São Paulo: **Ateliê**, 2006. 183 p.

ALVES, G. B. M. **Efeitos da inundação sobre o manejo da pecuária no Pantanal Norte, com emprego de imagens orbitais**. 2014, Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Geografia – Linha de Pesquisa em Geotecnologias Aplicadas à Gestão e Análise Ambiental, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2015.

ANDRADE, D. D.; SILVA, J. S. V.; FIGUEIREDO, V. A.; CASTRO, E. C. Análise geoespacial das ocorrências de feições erosivas nos planaltos e depressões da faixa norte da bacia do Alto Paraguai. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Cuiabá: Embrapa-Inpe, 2016. v. 6, p. 337 - 344.

ASSINE, M. L. PADOVANI: C. R. ZACHARIAS: A. Á. ÂNGULO: R. J. SOUZA: M. C., Compartimentação geomorfológica, Processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 6, p. 97-108, 2005.

ASSINE, M. L., River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p.357-371, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013>.

ASSINE, M. SOARES, P.C; Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p.23-34, 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1040-6182\(03\)00039-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1040-6182(03)00039-9).

BARTELI, G. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Arroio Garapiá – Maquiné – RS**. 60 p. Monografia (bacharelado em Engenharia Ambiental). Centro universitário UNIVATES. Lajeado, 2012.

BRAGA, C. C. Distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão nos afluentes do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros, Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 121-134, 2013.

BUARQUE, D. C. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias hidrográficas**: Estudo de Caso do rio Madeira. 2015. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CABRAL, J. B. P. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. **Caminhos de Geografia**. Jataí. 2004.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática. **CPRM**. Rio de Janeiro, 1994.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2. Ed, Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: **Interciência**. 2008.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília, Distrito Federal: **ANEEL**, 2000.

CARVALHO, Newton de Oliveira (1994). Hidrossedimentologia Prática. **CPRM, ELETROBRÁS**. Rio de Janeiro, RJ.

CASCO, S.L.; CHIOZZI, N.I.; NEIFF, J.J. La vegetación como indicador de la geomorfología fluvial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, p.123-136, 2005.

CREPANI, E.; MEDEIRO, J. S.; HERNADEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. **INPE-8454-RPQ/722**. São José dos Campos. 2001.

CREPANI, E.; MEDEIRO, J. S.; HERNADEZ 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. 1996.

CRUZ, I. F.; OLIVEIRA, S. M. L.; GIRARD, P. Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. **Acta Sci. Biol.**, Maringá, v. 30, n. 2, p.133-140, 2008.

CUNHA, C. N; PIEDADE, M. T. F; JUNK, W. J. Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats. Cuiabá: **EdUfmt**, 2015. 165 p.

CUNHA, E. R; SAKAMOTO, A. BACANI, V. M.; SILVA, L. F. Utilização de imagem de alta resolução espacial (bing image) como base para mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal. In: **5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, 2014, Bonito. 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2014.

DUARTE JUNIOR, J. A; SANTOS, F. F. S. A vulnerabilidade nas bacias do rio Cuiabá em Mato Grosso causado pela ação antrópica. In: VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. **Anais do VII CBG** – ISBN:978-85-98539-04-1, Vitória, 2014, p. 1-10.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 354 p.

FARIAS, I. C. Guia para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. 2.ed. Madrid, **GEOTMA**, 1984.

FERNANDES, D.; MORAIS, I. S.; MORAIS, I. S.; MARINO, M. T. R.D.; TAVEIRA, N. P.; SOUZA, P. F. A.; CUNHA, P. V. M.; PEIXOTO, V. P.; SILVA, V. B. G. Estudo granulométrico da Lagoa da Precabura, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Ceará. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, Fortaleza, v. 1, n. 34, p.63-78, dez. 2013.

FILIZOLA, H.F.; BOULET, R.; GOMES, M.A.F. Processos erosivos lineares em áreas de recarga do Aquífero Guarani. Jaguariúna, SP, **Embrapa**. 2003.

FUSHIMI, M. NUNES, J. O. R; NAKAMURA, R. Y; TAKATA, L, T. O. Vulnerabilidade Ambiental e aplicação de técnicas de contenção aos processos erosivos lineares em áreas rurais do município de Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasil, v. 14, n. 4, p.343-356, 06. nov. 2013.

GOMES, R. L. Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural á perda de solo da bacia hidrográfica do rio Almada. **Boletim de Geografia**, v. 31, n. 3, p.41-53, 20. Dezembro. 2013, Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v31i3.18650>.

GOULART, M. A.; SANCHES, L.; VILANI, M. T.; PINTO JUNIOR, O. B. Análise da evapotranspiração por wavelet de Morlet em área de Vochysia divergens Pohl no Pantanal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p.93-98, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p93-98>.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN)**: simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. 2003. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia e Meio Ambiente. 2. ed. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 1998. p. 337-379.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental: Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro. **Bertrand Brasil**, 2004. p. 225-256.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico – Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 1997, p. 652.

HARRIS, M. B., ARCÂNGELO, C., PINTO, E. C. T., CAMARGO, G., NETO, M. B. R., SILVA, S. M. Estimativa da perda de cobertura vegetal original na Bacia do Alto Paraguai e Pantanal brasil: ameaças e perspectivas. **Natureza & Conservação**. v. 4, n. 2, 9. 50-66, 2006.

IBGE. Manual técnico de cobertura vegetal. 3.ed, Brasília, **IBGE**, 2012,198 p.

IBGE. Manual técnico de uso da terra. 3.ed, Brasília: **IBGE**, 2013, 171 p.

KLAIS, H. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P.; ATIQUE, G.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied**

Science, v. 7, n. 2, p.277-290, 31 ago. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.786>.

LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A. Pantanal de Cáceres: composição granulométrica dos sedimentos de fundo no rio Paraguai entre a foz do rio Cabaçal e a cidade de Cáceres, Mato Grosso, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 263-276, 2012.

LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A.; NASCIMENTO, F. Sedimentos de fundo e em suspensão no corredor fluvial do rio Paraguai, Pantanal Norte Mato-Grossense, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 34, n. 8, p.195-214, ago. 2014.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Mapeamento Geomorfológico: Carta de Energia do Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 02 (2012) p. 269-284.

LEITE, V. A. W.; LEITE, E. F. Suscetibilidade à erosão laminar no município de Miranda/MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Cuiabá: Embrapa-Inpe, 2016. v. 6, p. 297 - 306.

LIMA, L. B. Efeito das plantas de cobertura em sistemas de plantio direto. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, p.1411-1427, 2014.

LORENZO, T. H.; NEVES, S. M. A. S.; KREITLOW, J. P.; GALVANIN, E. A. S.; MACHADO FILHO, L. C. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Cabaçal em Mato Grosso, Brasil. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 6., 2016, Cuiabá. **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Cuiabá: Embrapa-Inpe, 2016. v. 6, p. 464 - 474.

LUZ, C. C. S.; BARROS, C. A.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; NUNES, M. C. M. Suscetibilidade à erosão hídrica no município de Araputanga, região sudoeste de planejamento do estado de Mato Grosso - Brasil In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Cuiabá: Embrapa-Inpe, 2016. v. 6, p. 760 - 767.

MACEDO, H. A. **Geomorfologia e hidrossedimentologia da planície do rio Paraguai, da lagoa Vermelha à confluência do rio Miranda, Pantanal mato-grossense**. 2013, p. 73.

Tese (Doutorado em Geociência e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, SP, 2013.

MACHADO, D. O.; SOBRINHO, T. A.; RIBEIRO, A. S.; IDE, CARLOS, N.; OLIVEIRA, P. T. S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 2, p.195-201, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014000200010>.

MACHADO, N. G.; ESPINDOLA, M. M.; BIUDES, M. S.; PENHA, M. F. Efeitos do uso do solo sobre riachos de cabeceira da bacia do rio Cuiabá, Mato Grosso. **Ciência e Natureza**, Dourados, v. 32, p.175-192, 2013.

MANETTA, A.; CARMO, R. L. O processo recente de alterações territoriais e sócio-demográficas na Bacia do Alto rio Paraguai: novos contextos de exposição aos riscos ambientais (1980-2000). In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2010, Caxambu. **Anais XVII do encontro nacional de estudos populacionais**, Caxambu: ABEP, 2010. p.16-29.

MELLO, A. P. G.; SANTOS, J. W. M. C. Análise da variação têmporo-espacial da qualidade das águas da Lagoa Sinhá Mariana, Pantanal Norte Mato-grossense, a partir de Imagens MODIS em coletas in loco. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

MELLO, F. T.; OLIVEIRA, V. A. OLIVEIRA, S. M. L.; HUZAR, V. L. M.; IGLESIAS, C.; SILVA, T. S. F.; DUQUE-ESTRADA, C. H.; CALZADA, A. S.; MAZZEO, N. The structuring role of free-floating plants on the fish community in a tropical shallow lake: an experimental approach with natural and artificial plants. **Hydrobiologia**, v. 778, n. 1, p.167-178, 23 out. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2447-2>.

MELO, A. P. G.; ALVES, G. B. M.; OLIVEIRA, S. M. L. Uso e cobertura vegetal do solo da bacia do rio Mutum nas Zonas de Transição Aquático - Terrestre do Pantanal Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Cuiabá: Embrapa-inpe, 2016. v. 6, p. 111 - 121.

MELO, O. A. G.; SANTOS, M. L. Análise comparativa da vulnerabilidade ambiental potencial ou emergente da bacia hidrográfica do Rio Baiano – Assis

Chateaubriand/PR. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p.17-27, 23 dez. 2010. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v28i2.10375>.

MILANEZI, C. H. S; PEREIRA, J. G. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Micro Bacia do Córrego Azul, Ivinhema – MS. **Geografia: (Londrina)**, Londrina, v. 25, n. 1, p.43-63, jun. 2016.

MOTTA, M; SASSAGAWA, H. S. Y; MEDEIROS, J. S. Integração de dados ambientais através de álgebra de mapas caso de estudo: Geração da vulnerabilidade ambiental do município de Assis Brasil-Acre. **INPE**, São José dos Campos, n. 609, p.1-20, 11 nov. 2015.

NUNES, J. R. S; SILVA, C. J. Concentração de íons no sistema de baías Chacororé-Sinhá Mariana, Pantanal de Mato. **Uniciências**, Cuiabá, v. 13, p.135-158, 2009. Disponível em: <<http://pgsskroton.com.br/seer/index.php/uniciencias/article/viewFile/927/891>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2009. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2010.

PARANHOS FILHO, A. C; MOREIRA, E. S; OLIVEIRA, A. K. M; PAGOTTO, T. C. S; MIOTO, C. L. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 1, p.69-76, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014019010000305>.

PCBAP. Plano de conservação da bacia do Alto Paraguai: Diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio físico. Brasília, v.2, p.121-293, 1987.

PEREIRA, G.; CHÁVEZ, E. S.; SILVA, M. E. S. Estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal. **Ambi- Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 89-103, 2012.

PINTO-SILVA, V. **Variações diurnas de fatores ecológicos em quatro lagoas naturais do “Pantanal mato-grossense”**, dois da Amazônia Central, e uma lagoa artificial (Represa do Lobo, “Broa”, São Carlos, SP). 1980. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)–Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1980.

PONCE, V. e CUNHA, C. N. Vegetated earthmounds in tropical savanas of Central Brazil: Synteseis. **Journal of Biogeography**, v. 20. 1993. p. 219-235.

PUPIM, F. N.; BIERMAN, P. R.; ASSINE, M. L.; ROOD, D. H.; SILVA, A.; MERINO, E. R. Erosion rates and landscape evolution of the lowlands of the Upper Paraguay river basin (Brazil) from cosmogenic, ^{10}Be . **Geomorphology**, v. 234, p.151-160, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.016>.

RADAMBRASIL, Levantamentos dos Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia. Secretária Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, 1982. 448p.

RIBEIRO, J. C.; TOCANTINS, N.; FIGUEIREDO, M. Diagnóstico dos processos erosivos na sub-bacia do córrego Guanabara, Município de Reserva do Cabaçal, Pantanal, MT. **Revista Geopantanal**, Corumbá, v. 4, p.152-169, jun. 2013. Anual.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia: FFLCH/USP**, São Paulo, p.1-13, fev. 1994.

ROVANI, F. F. M; CASSOL, R; WOLLMANN, C. A; SIMONI, J. P. D. Análise da Vulnerabilidade Natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. **Revista do Departamento de Geografia – FFLCH/USP**, São Paulo, v. 29, p.262-278, 2015.

SALLES, C. & POESEN, J. (2000) Rain properties controlling soil splash detachment. **Hydrological Processes**, v. 14, p. 271-82.

SANTOS, A. R.; CREPANI, E. Contribuição do sensoriamento remoto aplicado à geologia no estudo do assoreamento dos Rios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, 7., 1996, São José dos Campos. **Anais VII SBSR**. São José dos Campos: Inpe, 1996. 6 p.

SANTOS, D. N.; STEVAUX, J. C. Alterações de longa duração na dinâmica hidrossedimentar por extração de areia no Alto curso do rio Paraná na região de Porto Rico – PR. **Geociências**, v. 29, n. 4, p. 603-612, 2010.

SANTOS, J. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F.T. Identificação de áreas alagadas no bioma Pantanal – Brasil – utilizando dados multitemporais - TERRA/MODIS. **Geografia. Rio Claro**, v. 34, p. 755-756, 2009.

SANTOS, J. W. M. C. Ritmo climático e sustentabilidade socioambiental da agricultura comercial da soja no sudeste de Mato Grosso. **Revista do Departamento de Geografia, UFMT**. v. 17, p. 61-81, 2005.

SANTOS, J. W. M. C; MARQUEZOLA. D. S; MELLO, A. P. G. Cartographie de l'utilisation des sols dans le bassin de la rivière Mutum, pantanal mato-grossense, Brasil. Environnement et géomatique: approches comparées. In: ENVIBRAS, 2014, Rennes, **V Anais ENVIBRAS**. Bretanha, p. 12-15, 2014.

SEPLAN-MT. Mato Grosso: Banco de dados 1: 250 000. Cuiabá, 2007.

SILVA NETO, J. C. A.; ALEIXO, N. C. R.; Tipologias e vulnerabilidades das paisagens em bacias hidrográficas. **Anais IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, 2013, p. 109-127

SILVA, A. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2010.

SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E.; CUNHA, S. B. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT). **Revista Brasileira de Geociências**. v. 1, n. 38, p. 167-177, 2008.

SILVA, F. C; FREITAS, I. J; CRUZ, J. S. B; OLIVEIRA, M. A. P; SOUZA, C. A; ANDRADE, L. N. P. S; BAMPI, A. Rio Paraguai no Pantanal de Cáceres - Mato Grosso: Feições morfológicas e deposição de sedimentos. **Revista Mato-grossense de Geografia**, Cuiabá, v. 1, n. 16, p.39-60, jun. 2013.

SILVA, M. P.; MAURO, R.; MOURÃO, G.; COUTINHO, M. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Geografia**, v.23, n. 2, p.143-152, 2000.

SOARES, Ana Paula; SOARES, Paulo Cesar; ASSINE, Mario Luis. Areiais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? **Revista Brasileira de Geociências**, Rio Claro, v. 33, p.2011-224, 2003.

SORIANO, B. M. A.; CLARKE, R. T.; GALDINO, S. Evolução da erosividade das chuvas na bacia do Alto Taquari. 2001. 18p. (Embrapa Pantanal. **Boletim de Pesquisa**, 25). ISSN 1517-1981.

SOUZA Filho, E. E. As barragens na bacia do rio Paraguai e a possível influência sobre a descarga fluvial e o transporte de sedimentos. **Boletim de geografia**, v. 31, n. 1, p. 117-133, 2013.

SOUZA, C. A; LANI, J. L; SOUZA, J. B. Origem e evolução do Pantanal Mato-grossense. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, **Anais VI**, Goiânia, 2006, p.1-11.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental em ambientes costeiros, utilizando um sistema geográfico de informações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, 6., 2003, Belo Horizonte. **Anais XI SBSR**. Belo Horizonte: Inpe, 2003. p. 1657 - 1664.

TARIFA, J. R. O sistema climático do Pantanal:: da compreensão do sistema à definições de prioridades de pesquisa climatológica. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 6., 1986, Brasília. **Anais do 6º Simpósio sobre recursos naturais e socioeconômicos do Pantanal**. Brasília: Embrapa, 1984. p. 9 - 27.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: **IBGE**, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977. 97p.

WWF-Brasil. Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012 a 2014 Iniciativa: Instituto SOS Pantanal, **WWF- Brasil**. Brasília, 2015.

ZANELA, B. P. **Modelagem do aporte de sedimentos aplicada à bacia hidrográfica contribuinte da PCH Costa Rica (MS) e proposta de mitigação do assoreamento**. 2015, p. 142. . Tese (Doutorado em Geociência e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, SP 2016.

ZANI, H. **Mudanças morfológicas na evolução do megaleque do Taquari:** Uma análise com base em dados orbitais. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente – Linha de Pesquisa Mudanças Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.