



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE TRÊS LAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM GEOGRAFIA**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE
MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO E/OU
ALAGAMENTO, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ-MS**

JOSÉ ROBERTO AMARO MANTOVANI

TRÊS LAGOAS

2016

JOSÉ ROBERTO AMARO MANTOVANI

**USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE
MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO E/OU
ALAGAMENTO, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ-MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação –
Mestrado em Geografia/ CPTL/UFMS – Área de
Concentração Análise Geoambiental, como exigência final
para obtenção do Título de Mestre em Geografia, sob
orientação do Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani.

**TRÊS LAGOAS
2016**

Termo de aprovação

José Roberto Amaro Mantovani

USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO E/OU ALAGAMENTO, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ-MS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, nível de mestrado da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Vitor Matheus Bacani

Departamento de Ciências Humanas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul campus de Três Lagoas.

Frederico dos Santos Gradella

Departamento de Ciências Humanas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul campus de Três Lagoas.

Wallace de Oliveira

Departamento de Ciências Humanas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul campus de Três Lagoas.

Suplente: Arnaldo Yoso Sakamoto

Departamento de Ciências Humanas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul campus de Três Lagoas.

*Dedico a todos aqueles que acreditam em si
e nunca deixam de seguir...*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas elas e de forma especial:

Aos meus pais, José e Suely, por sempre estarem me ensinado e mostrando os caminhos da vida, com sabedoria, justiça e coragem.

A Simone, pelo incentivo, carinho e paciência, nos quais foram fundamentais.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani pela dedicação, paciência, confiança, contribuição para a minha formação e amizade.

Ao Cesar, que me recebeu na UFMS e em sua casa, me mostrou Três Lagoas, e foi meu guia nesse período, sempre com confiança, hombridade e amizade.

Ao Sakamoto, pelos conhecimentos ensinados, pela confiança, incentivo e principalmente pela amizade.

Ao Elias, pelo apoio durante a elaboração do trabalho e amizade.

Ao Fred e "Polar" pelo apoio e amizade.

Aos Professores do Programa pela dedicação e contribuição na minha formação.

A todos que direta ou indiretamente participaram na execução deste trabalho.

A FUNDECT (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) pelo apoio financeiro.

Aos Funcionários da UFMS campus Três Lagoas pela dedicação.

A todos os colegas e amigos não citados, pois seria impossível citar a todos.

Obrigado...

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo elaborar um modelo matemático para mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento fundamentado no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), tendo a bacia hidrográfica do córrego Indaiá como área experimental de análise, em vista a ocupação que vem se processando nos últimos anos. A bacia está localizada no município de Aquidauana, estado do Mato Grosso do Sul, situada no perímetro rural. Não há de fato, registros sobre ocorrência de inundações e/ou alagamentos na área, por outro lado, embora sejam fenômenos ocasionados por eventos naturais, de origem hidrometeorológica, podem ser potencializados e/ou deflagrados pela ação antrópica, o que justifica a busca pela minimização de suas consequências por meio, sobretudo, da regularização da ocupação dessa bacia em análise. Visando o reconhecimento dos condicionantes e fatores que potencialmente exercem influência na formação e propagação desses eventos, foi utilizada uma metodologia de pesquisa geográfica, com base na análise integrada do ambiente sob a perspectiva sistêmica proporcionada pela escolha da bacia hidrográfica como unidade de análise, englobando os multicritérios, naturais e socioeconômicos que contribuem para a configuração da realidade local, de modo dinâmico. Foram pesquisados eventos de inundações e alagamentos na bacia, os padrões históricos de precipitação para região, características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, uso da terra e cobertura vegetal, declividade, hipsometria e condições hidrológicas de escoamento superficial da bacia. Os procedimentos metodológicos se desenvolveram através do emprego de um sistema de informação geográfica (SIG), por meio de técnicas de geoprocessamento, processamento digital de imagem e cartografia digital, apoiados em técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento e análise. Com o emprego dessa metodologia, reorganizaram-se as classes em estudo, dispondo-as, de acordo com a intensidade de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento. Os resultados mostraram que a bacia não apresenta elevada suscetibilidade, uma vez que as áreas com altas intensidades representaram aproximadamente 23% da área total, relacionadas com as baixas declividades (fora da planície fluvial), solos mal drenados associados ao uso da terra com ausência de práticas conservacionistas. As áreas intermediárias (média suscetibilidade) representarão aproximadamente 42% da área total e as de menor suscetibilidade cerca de 37%. As áreas que apresentaram maiores suscetibilidade, em específico à inundação, estão situadas sobretudo na planície fluvial, já as áreas com maiores tendências aos alagamentos estão relacionadas com a baixa declividade, somadas com as alterações antrópicas.

Palavras-chave: AHP. Bacia Hidrográfica. Hidrometeorológico. Regularização. Suscetibilidade.

ABSTRACT

This study aimed to develop a mathematical model for mapping of areas susceptible to flooding and / or flooding based on AHP (Analytic Hierarchy Process) and the watershed of the Indaiá, which has experiencing the occupation processing in recent years. You basin is located in the municipality of Aquidauana, State of Mato Grosso do Sul, located in a rural area. Indeed there are not records of occurrence of floods and / or flooding in the area, on the other hand, although phenomena caused by natural events are of hydro meteorological origin, they can be potentiated and / or triggered by human action, which justifies the search for minimize its consequences through, above all, through regularization of occupation of basin in the case. Aimed at recognizing the conditions and factors that potentially influence the formation and propagation of these events, a geographical research methodology was used. This methodology is based on integrated environmental analysis under the systemic perspective provided by the choice of river basin as the unit of analysis, encompassing multicriteria factors like natural and socioeconomic those contribute to configure the local reality, dynamically. Were researched and used in this work event like floods and flooding events in the basin, and the historical precipitation patterns for the region, geological and geomorphological characteristics, soil, land use and land cover, slope, hypsometry and hydrological conditions of the basin runoff. The methodological procedures were developed through the use of a geographic information system (GIS), using geoprocessing techniques, digital image processing and digital cartography, supported by mathematical and computational techniques for processing and analysis. With the use of this methodology, we reorganized the classes studied, classifying them, according to their degree of susceptibility to flooding and / or flooding. The results showed that the basin has not high susceptibility, since areas with higher sensitivities were around 23% of the total area. Related to the low slopes (outside the floodplain), there are associated soils poorly drained with lack of conservation practices. The intermediate areas (medium susceptibility) represent approximately 42% of the total area and the lower susceptibility covers an area of about 37%. The areas that had higher susceptibility, in particular for the flooding, are mostly related to the flood plain. The areas with the biggest trends to overflow are related to the low slope, added to human occupation in these areas.

Keywords: AHP. Hydrographic basin. Hydrometeorological. Regularization. Susceptibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Situação normal, enchente, inundação e alagamento (exemplo tanto na área urbana quanto rural).	32
Figura 2. Frequência anual de desastres por inundações no Estado de Mato Grosso do Sul, no período de 1991 a 2012.	34
Figura 3. Águas ocupam a planície de inundação do Rio Itajaí (SC), em 2008.	36
Figura 4. Águas ocupam a planície de inundação do Rio Ribeira de Iguape (SP), em 2005.	36
Figura 5. Inundação no município de Santa Rita do Pardo, Mato Grosso do Sul	37
Figura 6. Diferenças entre inundação gradual e brusca.	37
Figura 7. Ciclo hidrológico.	48
Figura 8. Localização da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, MS.	71
Figura 9. Bacia de drenagem do rio Taboco e a formação do anfiteatro de erosão.	72
Figura 10. Mapa Geomorfológico da bacia do Indaiá.	73
Figura 11. Morros e morrotes na borda oeste da bacia. Estrada MS345. Adjacências do assentamento Indaiá.	74
Figura 12. Mapa de Geologia.	75
Figura 13. Afloramento do arenito Furnas no médio curso do córrego Indaiá apresenta estratificação cruzada com coloração branca à cinza amarelado.	76
Figura 14. Afloramento do arenito Furnas no médio curso do córrego.	76
Figura 15. Afloramento do arenito Aquidauana no alto curso do córrego Água Limpa, caracterizado pela sua coloração predominante rosa a vermelho tijolo.	77
Figura 16. Afloramento do arenito Furnas no médio curso do córrego.	77
Figura 17. Depósitos aluvionares na margem esquerda (médio curso) do córrego Indaiá.	78
Figura 18. Mapa pedológico para BCI.	79
Figura 19. Solo permanentemente saturado por água.	80
Figura 20. Solo permanentemente saturado por água.	80
Figura 21. Neossolo Litólico.	81
Figura 22. Solo permanentemente saturado por água.	81
Figura 23. Neossolo Quartzarênico.	82
Figura 24. Solo permanentemente saturado por água.	83
Figura 25. Amostra de Latossolo Vermelho-Amarelo.	83
Figura 26. Solo permanentemente saturado por água.	84
Figura 27. Argissolos avermelhados em área de pastagem.	85
Figura 28. Solo permanentemente saturado por água.	85
Figura 29. Distribuição espacial pluviométrica anual.	86
Figura 30. Loteamentos dos Assentamentos.	87
Figura 31. Reflorestamento das proximidades da nascente do córrego Indaiá.	89
Figura 32. Fluxograma metodológico dos procedimentos metodológicos.	91
Figura 33. Carta Imagem da área de estudo.	94
Figura 34. Chave de Interpretação referente ao mapa de uso e cobertura da terra.	95
Figura 35. Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos	115

Figura 36. Mapa Hipsométrico da BCI.	118
Figura 37. Mapa de Intensidade Pluviométrica.	122
Figura 38. Mapa de Escoamento Superficial.	125
Figura 39. Mapa de Declividade.	128
Figura 40. Mapa de Suscetibilidade à Inundação e/ou Alagamento.	131
Figura 41. Disposição espacial dos Perfis Topográficos Analisados	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos grupos hidrológicos de solo.	54
Tabela 2. Valores CN considerando características das superfícies e do uso do solo em bacias rurais.	57
Tabela 3. Comparações do AHP.	62
Tabela 4. Índice Randômico Médio do AHP.	65
Tabela 5. Cálculo da Intensidade Pluviométrica.	99
Tabela 6. Tipos de solos associados a classificação hidrológica de solos (GHS).	101
Tabela 7. Tabela com valores de CN para bacias rurais.	103
Tabela 8. Reclassificação do mapa de Altitude.	106
Tabela 9. Reclassificação do mapa de Solos.	106
Tabela 10. Reclassificação do mapa Geomorfológico.	107
Tabela 11. Reclassificação do mapa de Declividade.	107
Tabela 12. Reclassificação do mapa de Escoamento Superficial.	108
Tabela 13. Matriz de comparação pareada proposta.	109
Tabela 14. Determinação dos pesos estatísticos.	112
Tabela 15. Área Ocupada pelo mapa de GHS.	116
Tabela 16. Área ocupada para as classes do mapa hipsométrico.	120
Tabela 17. Área ocupada pelas classes de escoamento superficial.	126
Tabela 18. Área ocupada para as classes de Declividade.	127
Tabela 19. Área ocupada pelo mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento.	132

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. <i>Curve Number</i> (CN)	57
Equação 2. Escoamento Superficial (Q)	58
Equação 3. Potencial de Infiltração Máximo.	58
Equação 4. Índice de Consistência.	64
Equação 5. Razão de Consistência.	65
Equação 6. Intensidade Pluviométrica.	98
Equação 7. Suscetibilidade à Inundação e/ou Alagamento.	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SIG – Sistema de Informação Geográfica
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
CN – Curve Number
AHP - Analytic Hierarchy Process
SCS - Soil Conservation Service
BCI – Bacia do Córrego Indaiá
UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction
SNDC - Secretaria Nacional de Defesa Civil
CEDEC - Coordenadoria de Defesa Civil Estadual
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica
ICSU – International Council for Science
PNDC – Política Nacional de Defesa Civil
MDE - Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital de Terreno
NRCS - Natural Resources Conservation Service
SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
GHS – Grupo Hidrológico de Solos
DSS - Decision Support Systems Glossary
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
REM – Radiação Eletromagnética
EEM – Espectro Eletromagnético
ESRI - Environmental Systems Research Institute
BAP - Bacia do Alto Rio Paraguai
PCBAP - Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
AGRAER - Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural
AGECOM – Gerência de Desenvolvimento Agrário e Meio Ambiente
PDI - Processamento Digital de Imagem
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico
LABGEO – Laboratório de Geoprocessamento
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
UTM - Universal Transversa de Mercator
TM - Thematic Mapper
USAF - United States Air Force
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMM - Organização Meteorológica Mundial
IQD - Inverso do Quadrado da Distância
MGRR - Grade Regular Retangular
HEC-GeoHMS - Hydrologic Engineering Center, Geospatial Hydrologic Modeling Extension

Sumário

ESTRUTURA DE DISSERTAÇÃO	15
Apresentação	15
CAPÍTULO I	16
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Problemática e Justificativa	18
CAPÍTULO II	23
2. OBJETIVOS E HIPÓTESE	23
2.1 Hipótese	23
2.3 Objetivos específicos	24
CAPÍTULO III	25
3. REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento	27
3.2 Revisão Terminológica e Conceitual	29
3.2.1 Enchente, Inundação e alagamento	30
3.2.2 Condicionantes e processos	35
3.3 Riscos, perigos, eventos e desastres naturais	38
3.3.1 Riscos	38
3.3.2 Perigos	39
3.3.3 Eventos	40
3.3.4 Desastres Naturais	40
3.4 Fragilidade Ambiental, Suscetibilidade e Vulnerabilidade	41
3.4.1 Fragilidade Ambiental	41
3.4.2 Suscetibilidade	42
3.4.3 Vulnerabilidade	44
3.5 Cartografia da Inundação e Alagamento	45
3.6 Conceitos e Modelos de Análise Hidrológica	48
3.6.1 Ciclo Hidrológico	48
3.6.2 Modelos hidrológicos	50
3.6.3 Modelo Hidrológico <i>Curve Number</i> (CN)	53
3.7 Análise Multicritérios: Método de análise hierárquica (AHP)	59
3.7.1 Método de análise hierárquica (AHP)	60
3.7.2 Benefícios, limitações e Aplicações do AHP	61

3.7.3 Processos de Hierarquização do AHP	62
3.7.4 Passos para Aplicação do AHP	63
3.8 Geotecnologias, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	66
CAPÍTULO IV	70
4. METODOLOGIA	70
4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	70
4.1.2 O quadro natural da BCI	72
4.1.3 O quadro socioeconômico	87
4.2 Materiais e Métodos	89
4.2.1 Dados Utilizados	91
4.2.2 Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra	93
4.2.3 Digitalização dos mapas Temáticos	97
4.2.4 Espacialização da Intensidade Pluviométrica	98
4.2.5 Modelagem Digital de Terreno	99
4.2.6 Caracterização dos Grupos Hidrológicos de Solos	101
4.2.7 Modelagem do Escoamento Superficial Distribuído	102
4.2.8 Cartografia da suscetibilidade à inundação e/ou alagamento	104
CAPÍTULO V	114
5. RESULTADOS	114
5.1 Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos (GHS)	114
5.2 Mapa Hipsométrico	116
5.3 Mapa de Intensidade Pluviométrica (IP)	120
5.4 Mapa de Escoamento Superficial	123
5.5 Mapa de Declividade	127
5.6 Mapa de Suscetibilidade à Inundação e/ou Alagamento	130
6. CONCLUSÕES	136
REFERENCIAS	137

ESTRUTURA DE DISSERTAÇÃO

Apresentação

Para elaboração de um modelo capaz de mapear áreas suscetíveis às inundações e/ou alagamentos, tendo a bacia do córrego Indaiá como área experimental de análise, a presente dissertação foi elaborada em cinco capítulos.

No primeiro capítulo faz-se a apresentação da relevância do tema da pesquisa e dos principais aspectos ligados a essa temática, bem como a justificativa do trabalho, trazendo características do histórico de ocupação da bacia. A hipótese bem como os objetivos gerais e específicos do trabalho encontram-se estruturados no capítulo dois.

No terceiro capítulo encontram-se a revisão bibliográfica, baseado nos fundamentos teóricos utilizados, tendo a bacia hidrográfica como categoria de análise e unidade de planejamento, conceitos referentes aos riscos, perigos, eventos e desastres naturais, assim como considerações sobre enchentes, inundações e alagamentos, fragilidade ambiental, vulnerabilidade e suscetibilidade, sensoriamento remoto, geoprocessamento, sistema de informação geográfica (SIG), escoamento superficial e outros.

No capítulo quatro são apresentados os materiais e métodos, por meio da caracterização da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, trazendo o detalhamento físico ambiental e principais aspectos socioeconômicos. Também são descritos os procedimentos metodológicos, como o levantamento, a compilação dos e o tratamento dos dados e materiais cartográficos utilizados.

A discussão dos aspectos naturais relacionados com a suscetibilidade à inundação e alagamento, incluindo características específicas de uso da terra e cobertura vegetal, bem como os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e topográficos, são abordados no capítulo cinco, no qual, inclui as conclusões.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço tecnológico vem causando maior influência nas pesquisas geográficas, relacionado principalmente ao advento das geotecnologias, com destaques para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a área do Sensoriamento Remoto. O termo geoprocessamento está associado à extração de inferências causais obtidas com base na análise da distribuição espacial dos fenômenos; inferências estas que se constituem em contribuições importantes ao aprofundamento do conhecimento e realidade espacial e servem de suporte para medidas de planejamento e tomada de decisão (XAVIER DA SILVA, 1999).

Historicamente, ocorre o processo de ocupação antrópica nas bacias hidrográficas, que é normalmente realizado com pouco ou nenhum planejamento ambiental, tendo apenas como objetivos o mínimo custo e o máximo benefício de seus usuários, sem a preocupação com a preservação do meio ambiente.

Com o crescimento demográfico e expansão das cidades, conseqüentemente o da exploração da água, os recursos naturais têm se deteriorado e repercutido em alguns impactos sobre o meio ambiente. As enchentes atípicas, expansão da planície de inundação e áreas sujeitas aos alagamentos são conseqüências negativas do processo de ocupação do solo sem manejo adequado e estudos a respeito dos potenciais econômicos e fragilidades ambientais de uma determinada bacia hidrográfica.

Segundo Cordero et al. 1999, quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a da sua calha normal, pode resultar na inundação das áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações. A ocupação da várzea pode ser para habitação, recreação, uso agrícola, comercial ou industrial (CORDERO et al. 1999). As

inundações representam tipos de desastres naturais, podendo ocorrer tanto em áreas rurais como urbanas. Este fenômeno é de natureza hidro meteorológica e, faz parte da dinâmica natural que, frequentemente, é deflagrado por chuvas rápidas e fortes ou chuvas intensas de longa duração (AMARAL e RIBEIRO, 2009), sendo intensificadas pelas alterações ambientais e intervenções antrópicas na paisagem, como a impermeabilização do solo em decorrência da retirada da cobertura vegetal, retificação dos cursos d'água gerando aumento do escoamento superficial, adensamento de culturas agrícolas e pastagens sem a prática de manejo adequada, ocupações em áreas próximas de cursos d'água e/ou em baixas declividades, podendo estar situadas sob a planície de inundação ou nas áreas adjacentes.

Segundo Tucci (2003), a maioria dos problemas relativos às inundações, é consequência de uma visão distorcida do controle por parte dos profissionais que ainda priorizam projetos localizados sem a análise abrangente da bacia hidrográfica e dos aspectos sociais e institucionais das cidades. A complexidade do gerenciamento de sistemas hídricos cresceu devido à diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e deterioração da qualidade das águas. A tendência atual envolve desenvolvimento sustentável nas bacias hidrográficas, implicando em um aproveitamento racional dos recursos com o mínimo dano ao meio ambiente (TUCCI ,1991).

O Estado de Mato Grosso do Sul, tem passado por um intenso processo de expansão econômica com base na exploração dos recursos naturais, foram implantados grandes projetos estatais e particulares de ocupação territorial, programas de desenvolvimento, aberturas de estradas, expansão das fronteiras agrícolas, programas de assentamento rural e crescimento urbano, sem, contudo, atentar-se ao planejamento do uso e ocupação da terra (AVELINO, 2006).

Esse acelerado crescimento sem o devido planejamento, apresenta, diversos problemas decorrentes do intenso uso do solo, sobretudo nos recursos hídricos, resultando em problemas de erosão superficial, assoreamento de rios, lixiviação do solo e a perda da cobertura natural. Estas alterações têm resultado em mudanças e impactos nas características do escoamento superficial tanto em áreas urbanas como rurais, podendo vir gerar um ambiente suscetível à inundação e alagamento.

Em áreas rurais, as atividades agropecuárias se mostram como grandes responsáveis pela retirada da cobertura vegetal e pela geração dessas mudanças, em virtude da sua rápida expansão e tamanho das áreas que adensam. Nesse sentido, municípios que têm sua renda provinda principalmente das atividades agropecuárias mostram a importância de um estudo prévio voltado ao planejamento para identificar possíveis mudanças do uso e cobertura da terra e projetar cenários, pois as consequências dessas alterações podem acarretar na perda da biodiversidade, de solo e também mudanças no ciclo hidrológico.

1.1 Problemática e Justificativa

Os eventos naturais extremos que mais repercutem nas atividades humanas no nosso país são de natureza climática. Segundo o Relatório produzido pelas Nações Unidas e pelo Banco Mundial (2010), no mundo é estimado que 3,3 milhões de pessoas morreram em consequência de desastres naturais entre 1970 e 2010, com um aumento significativo dos atingidos nas últimas duas décadas. Nas Américas Central e do Sul a incidência de inundações soma mais de 40% do total de eventos.

Embora sejam fenômenos naturais, a atuação do homem interferindo nas áreas urbanas e/ou rurais, ao longo do tempo tem contribuído para sua maior frequência, intensidade e expansão areolar (BRANDÃO, 2001).

O estado de Mato Grosso do Sul tem praticamente a totalidade de seu território dividido entre o Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná e a Planície do Pantanal Mato-grossense. As atividades econômicas desenvolvidas nessas duas grandes unidades geomorfológicas são basicamente agropecuárias: pecuária extensiva na planície e lavouras temporárias no planalto. A ocupação de novas fronteiras dessas atividades, sem o indispensável zoneamento ecológico-econômico que deveria anteceder-las, tem causado enormes prejuízos na forma de perda de solo por erosão e assoreamento de rios no planalto e

elevação no nível de inundações por ocasião das cheias na planície. A intensificação do uso e ocupação da terra, sem a adoção de técnicas de manejo que diminuam o impacto causado pelo desmatamento indiscriminado, acelera brutalmente uma situação naturalmente preocupante devido à vocação para perda de solo apresentada pelo planalto e de acumulação de sedimentos pela planície favorecendo a intensificação das inundações (SANTOS e CREPANI, 1996).

O processo de erosão e transporte de material do planalto em direção à planície é naturalmente severo e ocorre em rochas predominantemente psamíticas, com baixo grau de coesão, cujos solos gerados são predominantemente arenosos (com exceção das áreas onde afloram basaltos) e só se mantêm um pouco mais conservados sob condições de pluviosidade concentrada (alta pluviosidade e curto período chuvoso), quando protegidos pela pouca densa vegetação de cerrados. O conhecimento deste processo poderia evitar através de medidas não estruturais, pela adoção de políticas de uso da terra corretas, a situação atual (SANTOS e CREPANI, 1996). O processo de intensificação de uso da terra tem mostrado uma ameaça à manutenção e qualidade das águas dos mananciais. A qualidade da água de um manancial está intimamente ligada com os usos e atividades desenvolvidas ao longo da bacia hidrográfica, garantindo dessa forma em quantidade e qualidade o abastecimento à sociedade e, dessa forma evitar prejuízos tanto para a população quanto à degradação dos recursos naturais.

A água é um patrimônio de valor inestimável. Mais do que um insumo indispensável à produção e um recurso natural estratégico para o desenvolvimento econômico, a água é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que mantêm em equilíbrio os ecossistemas. É, ainda, uma referência cultural e um bem social indispensável à adequada qualidade de vida da população (CAPOBIANCO e WHATELY, 2002).

A escolha da bacia hidrográfica do córrego do Indaiá como área de estudo, reflete a preocupação com a preservação e conservação dos mananciais existentes na área da bacia, além do fato da bacia estar sendo destinada a programas de assentamento rural e ser de extrema importância garantir a qualidade dos recursos naturais, tanto para a produção agropecuária a ser

desenvolvida, quanto para o meio ambiente em si, garantindo dessa forma uma exploração e interação entre sociedade e natureza equilibrada.

A bacia hidrográfica do córrego Indaiá destaca-se do ponto de vista fisiográfico por se apresentar na transição do Planalto Maracaju-Campo Grande, Depressão Pantaneira e a Planície do Pantanal Sul-Mato-Grossense, abrangendo a transição dos biomas: Cerrado e Pantanal. Estes aspectos conferem à bacia do córrego Indaiá peculiaridades ambientais riquíssimas ligadas à fauna e flora. Tais características proporcionaram uma ocupação pautada na exploração da pecuária extensiva, favorecida pela abundância dos mananciais e, sobretudo pelas características geomorfológicas e pedológicas. O turismo, mais especificamente o ecoturismo, também se apresenta como uma forte atividade econômica.

O uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego Indaiá passou por uma expressiva transformação em função da instalação do primeiro complexo de assentamento rural do município de Aquidauana-MS. Em 15 de dezembro de 2009, o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) realizou o lançamento simultâneo dos quatro primeiros projetos da reforma agrária em Aquidauana (MS). Ao todo, 280 famílias são beneficiadas pelo complexo de 6,4 mil hectares formado pelos assentamentos Indaiá I, II, III e IV. Tomando como base a média de quatro integrantes por família, o complexo Indaiá representa a fixação de mais de mil pessoas no espaço rural de Aquidauana (INCRA, 2009).

Ressalta-se a relevância de investigar a situação dos pequenos produtores rurais, principalmente quando analisamos a importância das pequenas propriedades, originárias de assentamentos, no espaço rural brasileiro, pois são nessas pequenas propriedades que se produz boa parte dos alimentos que vão para a mesa dos brasileiros, então é importante saber os efeitos dessa ocupação na bacia, sob a ótica da inundação e do alagamento, uma vez que esses fenômenos, comprometem a estabilidade fisiográfica do ambiente além de acarretar em impactos socioambientais.

Diante desse quadro de ocupação questiona-se sobre os impactos positivos e negativos que poderão ser gerados a esse ambiente de tamanha importância ecológica que se configura como de transição Cerrado e Pantanal.

A questão chave que necessita ser desvendada refere-se ao planejamento e gestão da utilização ordenada das terras que compõe a bacia do Indaiá.

Embora com um eminente potencial turístico e agropecuário, a bacia do córrego Indaiá, ainda não dispõe de um documento cartográfico capaz de estabelecer as diretrizes para uma expansão e ocupação ordenada. Dessa forma, torna-se de vital importância à elaboração do mapeamento calcado na avaliação da suscetibilidade à inundação e do alagamento, no sentido de se definir diretrizes de ocupação que contribuam com um processo de desenvolvimento equilibrado.

A administração pública necessita de documentos cartográficos e de um relatório técnico que oriente uma ocupação centrada nos princípios do desenvolvimento sustentável. É necessário revelar a espacialização das zonas produtivas da bacia, bem como indicar diferentes níveis de restrição à utilização e exploração, sobretudo no que tange à avaliação de áreas suscetíveis à inundação e alagamento, uma vez que a ocupação encontra-se em processo de intensificação na bacia desde o início de 2010.

A quantidade de áreas produtivas ou que apresentam restrições à ocupação ligadas a inundação e alagamento ainda são muito pouco conhecidas. O estudo dos diferentes graus de fragilidades à ocupação e sua distribuição espacial na bacia é necessário para se determinar áreas prioritárias à preservação, recuperação e de uso sustentável. Ainda não existe nenhum mapeamento em nível local voltado a determinação dos diferentes graus de áreas suscetíveis a inundação e alagamento, no sentido de estabelecer ações de planejamento e gestão territorial na área do assentamento rural Indaiá, na faixa de transição Cerrado/Pantanal.

Nesse sentido o principal problema a ser equacionado por essa pesquisa é a elaboração de um conjunto de instruções pautadas em documentos cartográficos voltados à compreensão dos aspectos ligados a dinâmica hidrológica, por meio da elaboração de um mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá, situada no perímetro rural do Município de Aquidauana, MS, utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para representação de um modelo que demonstre os processos espaço-temporais de inundação e alagamentos para a área, e que

possibilite dessa forma uma utilização ordenada das terras na bacia, a fim de contribuir com ações de planejamento ambiental e ordenamento territorial.

Justifica-se, uma vez que faz uma análise espacial que visa compreender, caracterizar e diagnosticar a dinâmica do espaço geográfico no que concerne à avaliação da suscetibilidade à inundação e/ou alagamento por meio do uso de geotecnologias.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS E HIPÓTESE

2.1 Hipótese

O uso de modelos matemáticos distribuídos, auxiliados por técnicas de geoprocessamento associados a um sistema de informação geográfica (SIG), permitem a análise integrada acerca dos aspectos físicos e geográficos em bacias hidrográficas, espacialmente distribuídos, se comparado com métodos não distribuídos sem uso do SIG.

Para testar essa hipótese, objetivos gerais e específicos devem ser alcançados, conforme descrito a seguir.

2.2 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa consiste em elaborar um modelo capaz de mapear áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento, tendo a bacia hidrográfica do córrego Indaiá, situada no município de Aquidauana – MS, como a área experimental de análise, visando subsidiar ações de planejamento que direcionem o uso ordenado da terra, de forma a prevenir e minimizar o surgimento de problemas relacionados à qualidade ambiental e socioeconômica.

2.3 Objetivos específicos

- Identificar e relacionar os fatores ambientais e socioeconômicos aos condicionantes e processos que tornam a área de estudo suscetível às inundações e/ou alagamentos;
- Avaliar os impactos causados pela alteração da cobertura vegetal pelo processo de expansão do uso da terra, bem como prováveis influências na dinâmica ambiental da bacia;
- Aplicar o método *curve number* (CN) para modelar o escoamento superficial espacialmente distribuído na área de estudo, para uma série específica de dados pluviométricos;
- Apontar ações e planos de preservação e conservação da área estudada no sentido de nortear o planejamento da área, para adoção de medidas que minimizem os impactos ambientais e socioeconômicos;

CAPÍTULO III

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento nesta pesquisa, suas respectivas fragilidades e potencialidades ambientais, a fundamentação teórica-metodológica que subsidiou o emprego das geotecnologias associadas a um sistema de informação geográfica (SIG) na elaboração do modelo de mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento para BCI, se baseou na análise integrada do ambiente sob a perspectiva sistêmica do conceito de unidade Ecodinâmica de Tricart (1977), com base na Fragilidade Ambiental dos Sistemas Ambientais Antropizados proposto por Ross, (1994, 2012).

O modelo hidrológico *Curve Number* (CN), do *Soil Conservation Service* (SCS,1971), foi utilizado nesta pesquisa para modelar o escoamento superficial espacialmente distribuído para uma série temporal de dados pluviométricos.

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), foi desenvolvido por Saaty (1977, 1991) para estabelecer a importância relativa de cada parâmetro utilizado durante a elaboração dos mapas. Nesse contexto, trabalhos relacionados com o mapeamento de inundação e alagamentos foram descritos por Santos et al. (2010), Pilger (2011) e Grassi et al. (2013) cujo o emprego metodológico de álgebra de mapas, se baseia em uma análise de multicritérios, de modo, que as variáveis são trabalhadas de forma integrada no ambiente SIG.

A análise integrada do ambiente se constitui em uma metodologia interdisciplinar, porém geográfica, através desta se estabelece parâmetros e indicadores, sob diferentes escalas de análise, buscando entender como fatores condicionantes e agentes atuam mutuamente na formação física natural e na construção do espaço geográfico, atuando de forma integrada para elucidar diferentes contextos históricos e/ou econômicos. Especificamente, a metodologia buscou propiciar a descrição de diversos elementos do ambiente, em diversas escalas espaciais e temporais, procurando-se estabelecer relações

com a dinâmica hídrica superficial e sub superficial em diferentes condições ambientais (SAKAMOTO, 2012).

Segundo Ross (2001), os estudos integrados de uma área específica, exige uma compreensão da dinâmica do ambiente natural com ou sem a intervenção humana. Devido a todos os problemas ambientais gerados pelas práticas econômicas predatórias que marcaram a história da humanidade, torna-se necessário o planejamento físico-territorial, não somente sob o viés econômico e social, mas também ambiental.

Um valioso instrumento de avaliação da maior ou menor suscetibilidade a intervenção antrópica refere-se à análise da fragilidade ambiental. Estudos dessa natureza configuram-se como de extrema importância ao Planejamento Ambiental. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão e ordenamento territorial (SPÖRL e ROSS, 2004).

A fragilidade dos ambientes naturais frente às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. Em princípio, com exceção de alguns pontos no planeta, os ambientes naturais mostram-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais (ROSS, 1994). Tendo as bacias hidrográficas como unidade de paisagem e estudo, fica viável estabelecer metas, diagnósticos e recomendações para o uso equilibrado da terra, pois na bacia a integração e modificação dos sistemas geocológicos são sentidas por todos os proprietários e/ou ocupantes desta. No caso desta pesquisa, parte do diagnóstico ambiental foi elaborado por meio de geotecnologias (FERREIRA, 2011).

As Geotecnologias contribuem fortemente com os mapeamentos de síntese, sobretudo na avaliação da fragilidade ambiental, desenvolvida por Ross (1994). Na verdade, existe uma ampla gama de metodologias de análise ambiental que se apoiam no mapeamento de síntese, tais como: Análise da Vulnerabilidade Ambiental (CREPANI et al. 2001), Zoneamento Ambiental (MENDONÇA, 1999), Zoneamento Ecológico Econômico (BECKER e EGLER, 1996; BRASIL, 1991), Suscetibilidade e mapeamento de áreas de risco a

inundação, alagamentos e escorregamentos (SANTOS et al. 2010; PILGER, 2011; GRASSI et al. 2013).

A metodologia de análise da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994) surge num momento de pleno desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Com isso, diversos trabalhos desenvolvidos no Brasil com a utilização do ferramental das geotecnologias (SPÖRL e ROSS, 2004; KAWAKUBO et al. 2005; DONHA et al. 2006; VITTE e MELLO, 2009; BACANI, 2010, FERREIRA, 2011, CUNHA et al. 2013).

Nesse contexto, a cartografia destaca-se como um importante elemento no processo de entendimento dos processos naturais, deflagrados pela pressão antrópica em diferentes ambientes através da representação e visualização cartográfica de dados espaciais. Nesta perspectiva, a seguir será apresentado temas que nortearam a elaboração da pesquisa e promoveram a adoção de alguns conceitos e técnicas para tratamento da informação geográfica e análise.

3.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório, de acordo com a topografia do relevo (TUCCI, 1997).

A adoção de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação universal, pelo fato de constituir um sistema natural delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, no qual suas interações físicas são integradas e assim, mais facilmente interpretadas (SANTOS, 2004). A autora revela ainda que a avaliação é dada por temas relacionados aos aspectos físicos como a climatologia, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a hidrologia, e aos aspectos biológicos como a vegetação e a fauna.

Segundo o Programa Nacional de Bacias Hidrográficas, elas são entendidas como uma área fisiográfica drenada por um curso d'água ou por um

sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no meio ambiente (BRASIL, 1987).

Para Tucci (2004), a bacia pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também infiltrados profundamente.

A Bacia hidrográfica corresponde a uma unidade natural, ou seja, uma determinada área da superfície terrestre, cujos limites são criados pelos próprios escoamentos das águas sobre a superfície ao longo do tempo. Isto significa que a bacia é resultado da interação da água com e de outros recursos naturais como: material de origem, topografia, vegetação e clima. Assim um curso de água, independentemente de seu tamanho é sempre o resultado da contribuição de determinada área topográfica, que é a sua bacia hidrográfica (BRIGANTE e ESPÍNDOLA, 2003).

Cunha e Guerra (2004) apresentam uma bacia hidrográfica como uma unidade geomorfológica importante, pelo fato de nela interagirem os fatores físicos, biológicos, econômicos e sociais. As bacias hidrográficas integram uma visão de conjunto do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas, de modo que mudanças significativas em qualquer parte dessa unidade podem desencadear impactos e problemas ambientais.

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico. Dentre eles citam-se a área de drenagem, que é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas; a forma da bacia, importante devido ao tempo que leva a água para chegar à saída da mesma; o sistema de drenagem, constituído pelo rio principal e seus tributários, onde o estudo de suas ramificações será importante, indicando se a água deixará a bacia em maior ou menor velocidade; e as características do relevo, que possuem influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, onde a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, e a temperatura, a precipitação, a evaporação, etc., são funções da altitude da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975).

Segundo Rocha (1997), as micro bacias hidrográficas que possuem as formas geométricas retangulares, trapezoidais ou triangulares (figuras geométricas de área mínima) são menos suscetíveis às inundações que aquelas com formas ovais, quadradas ou circulares (figuras geométricas de área máxima), pois as últimas apresentam maiores possibilidades de serem atingidas por chuvas intensas de forma simultânea em toda sua extensão, causando uma grande concentração de volume de água no tributário principal.

Pelos aspectos apresentados, as bacias hidrográficas são unidades que integram o ambiente geográfico, sendo assim, torna-se viável elaborar mapas geoambientais (ou documentos cartográficos) que orientem o uso equilibrado do solo, pois na bacia a integração e modificação dos sistemas geoecológicos são impactadas por todos os proprietários e/ou ocupantes desta, mesmo pelo viés ambiental.

3.2 Revisão Terminológica e Conceitual

A revisão conceitual dos termos relativos aos riscos, evento, perigo, desastres, utilizados também em outros estudos, pesquisas e trabalhos em geral, têm causado preocupação entre os pesquisadores e técnicos, pois existem divergências entre os autores acerca do significado destes termos. Da mesma forma, não existe uma consonância no que se refere ao significado atribuído aos conceitos dados aos eventos relacionados com a dinâmica hidro meteorológica, como enchentes, inundação e alagamento (Condicionantes e processos). Esta polissemia é percebida não apenas no âmbito da Geografia, mas também nas demais ciências que se ocupam de análise de riscos ambientais, planejamento territorial entre outras que abordam essa temática (LIMA, 2010).

Embora sejam coloquialmente usados como sinônimos, estes conceitos correspondem a processos distintos, dessa forma deve haver um cuidado quanto à aplicação desses termos, devendo ser diferenciados quando utilizados, pois ocorrem sob diferentes condições hidrológicas (GRACIOSA, 2010). Os aspectos

físico-naturais assim como processos socioeconômicos também devem ser analisados para adequado tratamento dos conceitos, de modo a analisar integralmente as fragilidades do ambiente.

Nesse sentido, a seguir serão abordados os conceitos adotados durante a elaboração da pesquisa, e também explicados os critérios adotados para decisão dos termos no que diz respeito ao mapeamento geoambiental da BCI, com vistas a aplicar um modelo matemático para representar cartograficamente a suscetibilidade à inundação e/ou alagamento.

3.2.1 Enchente, Inundação e alagamento

Já se tornaram rotinas, nos períodos chuvosos, as notícias sobre inundações e alagamentos de núcleos urbanos e áreas situadas na zona rural.

As enchentes, que são fenômenos naturais, estão sendo potencializadas pela pressão que o crescimento populacional e conseqüentemente a exploração dos recursos naturais tem exercido sobre o meio ambiente sem um estudo pautado na fragilidade ambiental dos sistemas ambientais.

Inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração (AMARAL e RIBEIRO, 2009). Segundo a *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2002), as inundações e enchentes são problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, ou seja, aqueles de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Sabe-se hoje que as inundações estão relacionadas com a quantidade e intensidade da precipitação atmosférica (SOUZA, 1998).

A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem. Mas sobretudo, pelas alterações ambientais e intervenções antrópicas na paisagem, como a impermeabilização do solo em decorrência da retirada da cobertura vegetal, retificação dos cursos d'água

gerando aumento do escoamento superficial, ocupações em áreas próximas de cursos d'águas ou áreas de baixa declividade (AMARAL e RIBEIRO, 2009).

De acordo com o glossário da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC, 2009) a inundação é o transbordamento de água da calha normal dos rios, lagos, mares e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas.

Para Kobiyama et al. (2006), a inundação, que é popularmente tratada como enchente é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele. Quando não ocorre o transbordamento, apesar de o rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação.

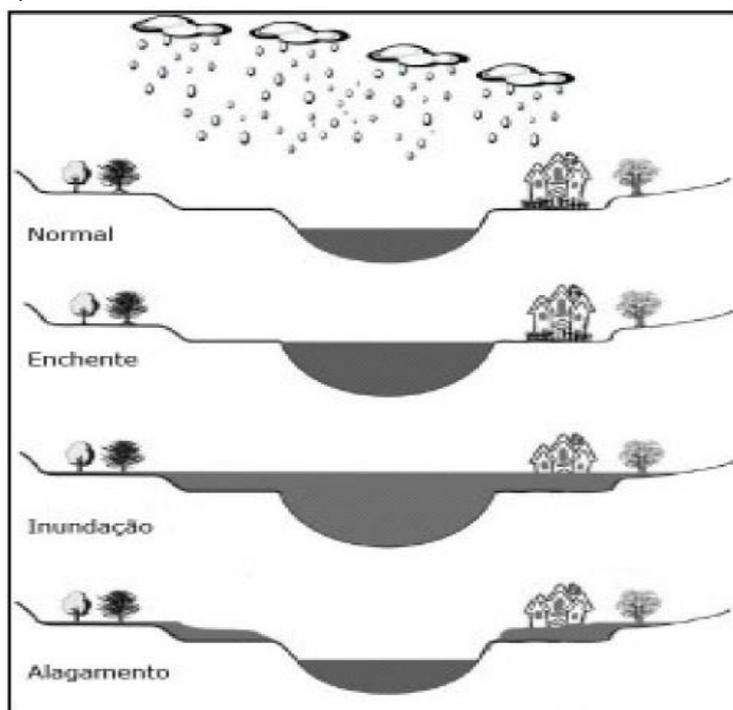
Embora as inundações sejam fenômenos naturais, que se verificam periodicamente por ocasião das chuvas excepcionais em determinados setores do leito maior dos cursos d'água, para entendê-las, é necessária uma análise no âmbito de bacias hidrográficas, onde possam ser considerados vários fatores, entre eles, os fatores climáticos, as características físicas e as modificações causadas pelo homem, pois qualquer modificação causada no sistema de drenagem acaba gerando desequilíbrios que agravam os impactos ambientais a jusante (HERRMAN, 1999).

Mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (CUNHA e GUERRA, 2006), que por sua vez refletirão sob o comportamento do escoamento superficial e, podem repercutir em alguns impactos negativos ao ambiente, como aumento dos picos de cheias e assim conseqüentemente ocorrer enchentes, inundações com maior frequência, ou mesmo falta d'água nas redes de drenagem e lençol freático.

No que refere ao acúmulo de água no solo e ao extravasamento dos cursos hídricos, há diferentes formas de se conceituar estes fenômenos, sendo que estes termos são frequentemente utilizados como sinônimos em trabalhos científicos, como citado anteriormente. Entretanto, aqui iremos considerar que os mesmos têm significados diferentes (Figura 1). A palavra “enchente” procede do latim “*plenus*” que significa “cheio”, e segundo Aurélio (2014), sua definição é “ocupar o vão, a capacidade ou a superfície de; tornar cheio ou repleto”. Este fenômeno é conhecido pela elevação temporária do nível d'água ao longo de um

canal de drenagem decorrente ao aumento da vazão ou descarga (SANTOS, 2010).

Figura 1. Situação normal, enchente, inundação e alagamento (exemplo tanto na área urbana quanto rural).



Fonte: Andrade (2006) e Graciosa (2010).

Segundo Tucci (1998), as enchentes ocorrem quando a precipitação é intensa e a quantidade de água que chega ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, resultando na inundação das áreas ribeirinhas. Para Graciosa (2010), é o aumento da vazão em decorrência de um aumento no escoamento superficial, geralmente provocado pela precipitação, podendo ou não provocar inundação.

Para Castro (1998) a enchente é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal, sendo que este autor utiliza o termo enchente como sinônimo de inundação. Graciosa (2010) trata a enchente como o aumento da vazão em decorrência de um aumento no escoamento superficial, geralmente provocado pela precipitação, podendo ou não provocar inundação.

Comumente os termos inundação e enchente são utilizados como sinônimos, mas eles diferem entre si quanto à fenomenologia. A enchente refere-se ao aumento da vazão do rio por um determinado período de tempo.

Entretanto, quando a vazão supera a capacidade de descarga do canal, indo extravasar para as áreas marginais (várzea e planície aluvial), ocorre a inundação (CARDOZO, 2009).

A inundação deriva do verbo inundar, que tem como significado a ação ou efeito de inundar, transbordamento das águas, cobrindo certa extensão do terreno” (AURÉLIO, 2014). Goerl e Kobiyama (2005) definem inundação como o extravasamento do canal para as áreas marginais, de modo que o escoamento atinge o leito maior do canal. A Política Nacional de Defesa Civil (SNDC, 2007) classifica as inundações em função da magnitude, em excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude.

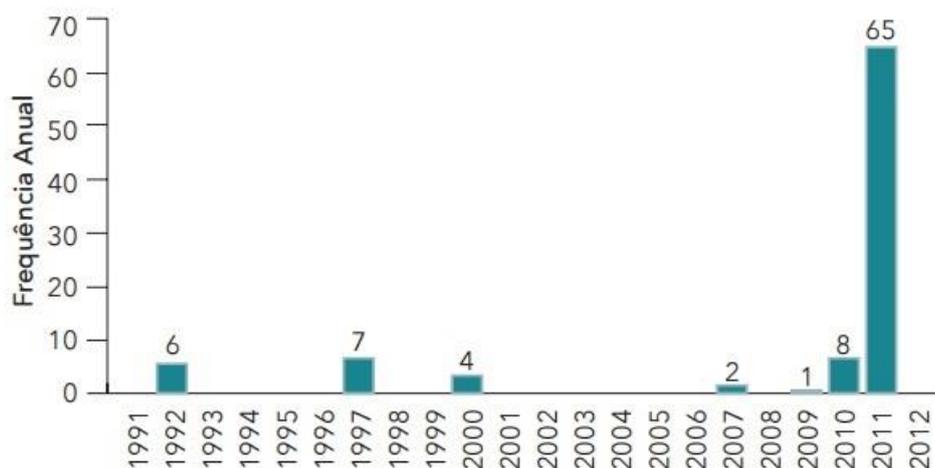
Valente (1996) define as enchentes e inundações como resultados de comportamentos de cursos d’água (córregos, ribeirões e rios). Já em relação aos alagamentos, como acúmulo de água formados pelas enxurradas, que são escoamentos superficiais provocados por chuvas intensas e em áreas total ou parcialmente impermeabilizadas.

Com base em dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2012), no Estado de Mato Grosso do Sul foram registrados 93 registros oficiais de inundações excepcionais caracterizadas como desastre, entre os anos de 1991 e 2012 (Figura 2). A mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul possui um total de 44 registros, que representam 47% das ocorrências de desastres no estado. Grande parte do seu território se localiza na parte sul da planície pantaneira, com pluviosidade anual que varia entre 1.200 mm e 2.000 mm (MATO GROSSO DO SUL, 2010). Nessa mesorregião, situa-se o município mais atingido por inundações recorrentes, denominado Eldorado, com cinco ocorrências. Nesse município, as inundações ocorrem às margens do rio Paraná, conforme os documentos oficiais. O mesmo documento aponta outros municípios classificados entre os mais afetados: Aquidauana, Corumbá, Coxim e Porto Murtinho, com três ocorrências cada.

Abaixo no gráfico (Figura 2) são apresentados os registros no período de 1991 a 2012. Observa-se que o ano de 2011 se destaca com 65 registros. Nesse ano, de acordo com o boletim de informações climáticas do CPTEC/INPE (MELO, 2012), a ocorrência de dois episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) favoreceu o aumento das chuvas no setor central do Brasil, inclusive no Estado de Mato Grosso do Sul, principalmente durante a primeira

quinzena de março. Esse sistema meteorológico é típico dos meses de verão e caracteriza-se pela formação de uma banda de nuvens que se estende desde o Brasil central até o Oceano Atlântico.

Figura 2. Frequência anual de desastres por inundações no Estado de Mato Grosso do Sul, no período de 1991 a 2012.



Fonte: Brasil, 2013.

Nesse sentido ficou claro que tanto a enchente quanto a inundação são diretamente efeitos ocorridos na rede de drenagem, já o conceito de alagamento é utilizado para definir os processos decorrentes ou não dos problemas de natureza fluvial, causando o acúmulo momentâneo de águas em um dado local por problemas de deficiência no sistema de drenagem devido a seu baixo coeficiente de escoamento superficial (SANTOS, 2010).

As áreas suscetíveis aos alagamentos podem ter vários fatores, que estão relacionadas com baixas declividades, solos mal drenados e sobretudo a ação antrópica atuando na retirada da cobertura vegetal natural e obras mal planejadas ou sem qualquer planejamento ou estudo prévio.

Desta maneira, as terminologias inundação e alagamento, consistem nas palavras mais adequadas para conduzir essa pesquisa, de modo a analisar a bacia hidrográfica como um todo e não limitar-se apenas a dinâmica fluvial e processos que ocorrem nas planícies de inundação, uma vez que não há registros de ocorrência deste fenômeno nessa área. Contudo, através da

hipótese estabelecida nessa pesquisa pretende-se buscar resultados distribuídos ao longo de toda a bacia hidrográfica.

3.2.2 Condicionantes e processos

Segundo Amaral e Ribeiro (2009), a probabilidade e a ocorrência de inundação, enchente e de alagamento são analisadas pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos. Entre os condicionantes naturais destacam-se:

- a) formas do relevo;
- b) características da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- c) intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- d) características do solo e o teor de umidade;
- e) presença ou ausência da cobertura vegetal;

O estudo desses condicionantes naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido. A planície de inundação, também denominada várzea, é uma área que periodicamente será atingida pelo transbordamento dos cursos d'água, constituindo, portanto, uma área inadequada à ocupação, como é apresentado nas Figuras 3 e 4 (AMARAL e RIBEIRO, 2009).

Figura 3. Águas ocupam a planície de inundação do Rio Itajaí (SC), em 2008.



Fonte: Acervo IG.

Figura 4. Águas ocupam a planície de inundação do Rio Ribeira de Iguape (SP), em 2005.



Foto: Ney Ikeda (DAEE).

De acordo com as características do vale é possível prever a velocidade do processo de inundação. Os vales encaixados (em V) e vertentes com altas declividades predispõem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas (Figura 5).

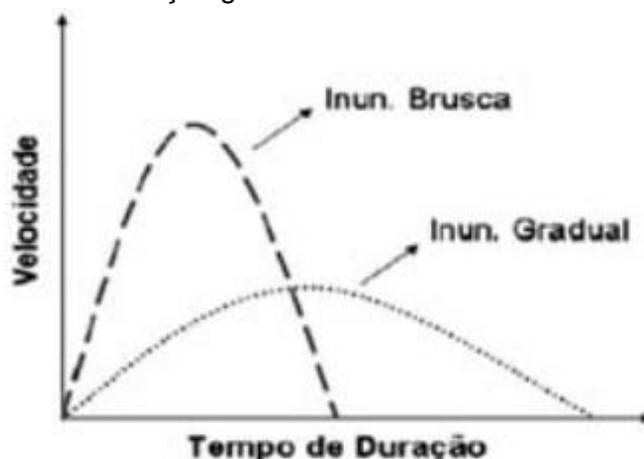
Figura 5. Inundação no município de Santa Rita do Pardo, Mato Grosso do Sul



Fonte: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Mato Grosso do Sul (BRASIL, 2011).

Os vales abertos, com extensas planícies e terraços fluviais predisõem inundações mais lentas (graduais), devido ao menor gradiente de declividade das vertentes do entorno (AMARAL e RIBEIRO, 2009), mostrado na Figura 6.

Figura 6. Diferenças entre inundação gradual e brusca.



Fonte: Kobiyama et al. 2006.

Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nessas regiões. A cobertura vegetal também é um fator relevante, visto que a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo e diminui a velocidade do escoamento superficial, minimizando as taxas de erosão (AMARAL e RIBEIRO, 2009). Segundo os mesmos autores, entre os condicionantes antrópicos citam-se:

- a) uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água;
- b) disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água;
- c) alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água (vazão, retificação e canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo, entre outras);

3.3 Riscos, perigos, eventos e desastres naturais

3.3.1 Riscos

O termo risco também possui diferentes definições na literatura, variando conforme o contexto científico ou cultural em que é utilizado. Inclusive, coexistem diferentes complementos para a palavra, tais como o risco natural, risco social, risco tecnológico e risco ambiental, nesta perspectiva que Zanirato et al. (2008) afirmam que a gestão de riscos exige uma apreensão de suas múltiplas faces.

O conceito de risco segundo Alheiros et al. (2003), é utilizado para expressar a possibilidade de perdas materiais ou sociais, através da ocorrência de um evento que causa perdas e danos (escorregamento, inundação entre outros). Para existir risco, é necessário que haja alguma ocupação do espaço, pois os processos naturais só criam riscos quando as pessoas ocupam o lugar onde os eventos naturais ocorrem. O risco resulta da interação de vários componentes, destacando-se as características do meio físico (geologia, morfologia, hidrologia, clima) que expressam a suscetibilidade e as alterações antrópicas (densidade ocupacional, infraestrutura), que por sua vez expressam a vulnerabilidade (ALHEIROS et al. 2003 apud CARDOZO, 2009).

O risco é a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas esperadas (mortes, prejuízos, posses, manutenção do meio de vida, atividades econômicas interrompidas ou danos ambientais) resultantes da interação entre os perigos naturais e humanos e as condições vulneráveis (ICSU – *International Council for Science*, 2005). A PNDC (SNDC, 2007) apresenta duas conceituações, a primeira define risco como a medida de danos ou prejuízos

potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis. Quanto à segunda definição, explicita uma relação entre a probabilidade de que um evento adverso ocorra.

Quanto maior for o grau de intervenção humana no meio ambiente, sem levar em conta os riscos naturais, maiores serão as possibilidades de ocorrência de catástrofes, que geralmente envolvem mortes e prejuízos materiais (GUERRA e GUERRA, 1997).

3.3.2 Perigos

Os termos perigo e risco são frequentemente utilizados erroneamente como sinônimos. O perigo é um fenômeno, natural ou não, que ocorre em épocas e regiões conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto (CARDOZO, 2009).

Assim, perigos naturais são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera, podendo constituir um evento danoso, e serem criados, modificados ou aumentados pela atividade humana, tais como a degradação do ambiente e urbanização, enquanto que o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo (KOBAYAMA, 2006).

Para Cross (2001) a chave para a definição de um perigo é a interação humana ecológica que pode gerar desastre. Assim, um evento extremo atribui um perigo quando humanos estão expostos a eles. Neste sentido, quando se trata de risco, deve-se considerar o perigo e a vulnerabilidade (densidade demográfica, infraestrutura, pobreza, entre outras) do sistema que está prestes a ser impactado (KOBAYAMA, 2006).

3.3.3 Eventos

Muitos autores concordam que o conceito de evento envolve um fato ocorrido sem consequências socioeconômicas (CARDOZO, 2009). Um evento natural é simplesmente uma ocorrência natural sem consequências sócio econômicas ou perigos potenciais (*Engineering Geology And Environmental Approach*, 1986. Para Augusto Filho et al. (1990) é um processo geológico ou atmosférico que tenha ocorrido, sem causar consequências socioeconômicas.

Para Alheiros et al. (2003) é um fato ocorrido no qual não foram registradas perdas sociais e/ou econômicas, e para Carvalho et al. (2007) define como fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e sociais.

Castro (1998), Aborda diferentes tipos de eventos. O evento seria o acontecimento, e na análise do risco seria a ocorrência externa ou interna ao sistema, envolvendo fenômeno da natureza, ato humano ou desempenho do equipamento que causa distúrbio ao sistema. O autor também aborda eventos adversos, que seriam a ocorrência desfavorável, prejudicial e imprópria, que traz prejuízo, e, é um fenômeno causador de desastres. Já o evento externo seria a ocorrência externa ao sistema em estudo, como interrupção de energia, terremotos, enchentes ou outros desastres naturais.

3.3.4 Desastres Naturais

Resultado de um evento adverso natural ou provocado pelo homem sobre um sistema suscetível, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais, e consequentemente prejuízos socioeconômicos. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento e a vulnerabilidade do sistema e é quantificada em termos de dados e prejuízos (DEFESA CIVIL DO BRASIL, 2006).

Um perigo natural somente se torna um desastre quando afeta algum tipo de ocupação antrópica que está exposta e é vulnerável. Muitos fatores, incluindo

o tempo, as características socioeconômicas e políticas das populações afetadas e as condições ambientais do local definem o contexto dentro dos quais os perigos ou desastres ocorrem (CROSS, 2001).

Segundo Alcântara e Ayala (2002), a ocorrência dos desastres naturais está ligada não somente à suscetibilidade dos mesmos, devido às características geoambientais, mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto, isto é, o sistema econômico-social-político-cultural. Normalmente, os países em desenvolvimento não possuem boa infraestrutura, sofrendo muito mais com os desastres do que os países desenvolvidos, principalmente quando relacionado com o número de vítimas. Inundações, alagamentos, escorregamentos, secas, furacões, entre outros, são fenômenos naturais severos, fortemente influenciados pelas características regionais, tais como, geologia, pedologia, relevo, cobertura vegetal e condições meteorológicas entre outras.

Quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (sócio econômico) são considerados como desastres naturais (CARDOZO, 2009).

3.4 Fragilidade Ambiental, Suscetibilidade e Vulnerabilidade

3.4.1 Fragilidade Ambiental

O conceito de fragilidade ambiental ou de áreas frágeis diz respeito à suscetibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, inclusive à poluição. Daí a definição de ecossistemas frágeis ou áreas frágeis como sendo aqueles locais que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência ou de pouca capacidade de recuperação. Por exemplo, são ambientalmente frágeis os lagos e lagoas, as lagunas, as várzeas, as encostas de declividade acentuada, as áreas de recarga de aquíferos, as restingas e os manguezais (GOMES et al. 2008).

De acordo com Ross (2000), o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais passa pelos levantamentos dos solos, relevo, rochas e

minerais, das águas, do clima, da flora e fauna, constituindo em parte dos componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e do homem.

Para a análise da fragilidade, entretanto, exige-se que esses conhecimentos setorializados sejam avaliados de forma integrada, calcada sempre no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre os seus componentes físicos e bióticos (ROSS, 2013).

A aplicação da metodologia de Análise da Fragilidade Ambiental proposta por Ross (1994), pautada na Teoria Ecodinâmica, preconizada por Tricart (1977,1992), a qual classifica o ambiente sob o prisma da Teoria dos Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as forças de energia e matéria se processam através de relações de equilíbrio dinâmico. Entretanto, este equilíbrio é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes (Ross, 1992 apud BACANI, 2010).

O estudo dos diferentes graus de fragilidades do meio ambiente à ocupação e sua distribuição espacial na bacia é necessário para se determinar áreas prioritárias à preservação, recuperação e de uso sustentável, assim evitando situações de risco, social e ambiental. Desta forma, Tricart (op. cit.) definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico, são estáveis, e quando, em desequilíbrio, são instáveis. A fundamentação teórica da fragilidade dos ambientes naturais deve ser avaliada quando se pretende aplicá-la ao planejamento territorial ambiental.

O conhecimento dos níveis de fragilidades presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais evidente sobre quais são as opções mais adequadas para o uso do solo (SPÖRL, 2001).

3.4.2 Suscetibilidade

A suscetibilidade é entendida como a característica inerente ao meio, representando a fragilidade do ambiente, por exemplo, em relação às

inundações e escorregamentos. Diferencia-se do conceito de vulnerabilidade, o qual é definido como predisposição de um sujeito, sistema ou elemento, ser afetado por um evento, assim, áreas mais suscetíveis terão maior grau de risco (ALHEIROS et al. 2003).

Souza (2004) usa o termo suscetibilidade natural para mostrar um perigo relativo dado pelos condicionantes naturais e suscetibilidade antrópica, que é a potencialidade do meio antrópico em induzir enchentes e alagamentos. As duas juntas equivalem ao perigo.

Os grandes desastres causam maiores danos em países subdesenvolvidos, e as causas, em parte, podem ser atribuídas à instalação da população geralmente em áreas suscetíveis a esses fenômenos. Sem condições de se munir com sistemas de previsões ou monitoramento, ou com obras de contenção, a população se mostra vulnerável diante dessas situações.

A vulnerabilidade aos riscos é proporcional ao nível de miséria, ou seja, quanto mais carentes as populações, mais estão sujeitas aos efeitos danosos, devido à instalação sem a infraestrutura adequada (ALCANTARA e AYALA, 2002), além de quase sempre ocuparem áreas de risco, mas suscetíveis a certos fenômenos ambientais.

Kobiyama (2006) explana tal relação a partir do seguinte exemplo: um fenômeno atmosférico extremo como um tornado, que costuma ocorrer em uma determinada região (suscetibilidade) e época conhecida, gera uma situação de perigo. Se este se deslocar na direção de uma determinada área povoada, com uma possibilidade real de prejuízos em um determinado período (vulnerabilidade), teremos então uma situação de risco. Se o tornado atingir a área povoada, provocando danos materiais e vítimas, será denominado como um desastre natural. Caso o mesmo ocorra não gerando danos, será considerado como um evento natural.

Nesta pesquisa, para o mapeamento das áreas com potencial à inundação e alagamento também foi adotado o conceito de suscetibilidade como um ou mais atributos físicos que uma determinada área possui e que a torna potencialmente sujeita a ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica. Embora a bacia esteja localizada na área rural do município estudado, ela abarca uma série de interesses sociais e econômicos uma vez que está sendo ocupada e transformada por assentamentos agrícolas, neste sentido,

acrescentou-se a ação antrópica como um dos agentes intensificadores da suscetibilidade, considerando a escala temporal de análise referente à implantação do loteamento, pois, ao impermeabilizar o solo, por exemplo, pode contribuir para uma significativa alteração da dinâmica hídrica natural, ou menos ocupação em áreas de várzea, supressão vegetal em áreas com maior fragilidade ambiental, alteração no escoamento superficial, entre outras.

É importante ressaltar que a suscetibilidade expressa apenas uma condição potencial, ou seja, não há uma certeza absoluta que ocorrerá um desastre em nossa escala temporal.

3.4.3 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é conceituada segundo o ICSU (2005) como uma condição determinada por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade. Segundo Graciosa (2010) é uma propriedade intrínseca do sistema que avalia sua suscetibilidade à ocorrência do evento e com qual dano potencial.

Para Palacios et al. (2005), a vulnerabilidade é o conjunto de condições ambientais, sociais, econômicas, políticas e educativas que fazem com que uma comunidade esteja mais ou menos exposta a um desastre, seja por condições inseguras existentes, ou por sua capacidade de responder ou se recuperar antes de tais desastres.

O grau de vulnerabilidade de uma população exposta a uma ameaça pode ser reduzido, desde que se criem ações de preparação para as emergências e/ou que se reduzam as condições de risco existentes mediante políticas e estratégias de desenvolvimento e planejamento.

Algumas condições potencializam a destruição, como a baixa qualidade das habitações, pois possuindo poucos recursos, algumas populações constroem suas moradias com restos de construções e outros materiais de qualidade inferior, aliada às condições desfavoráveis do local em que são construídas essas habitações, onde a suscetibilidade a desastres naturais é alta,

como as encostas instáveis e as planícies suscetíveis à inundação (DEGG, 1992).

Avançando no estudo da abrangência do conceito, Vedovello e Macendo (2007) e Zanella (2006) apud Lima (2010) salientam que a vulnerabilidade aos desastres não está relacionada somente com as características físicas e de infraestrutura da área e sim constitui um conjunto de fatores que engloba questões econômicas, sociais, políticas, técnicas, institucionais, entre outras. Isso evidencia que a vulnerabilidade aos desastres naturais não está associada simplesmente apenas com o aspecto físico (clima, relevo, drenagem, solos entre outras), mas, sobretudo, com a situação socioeconômica da população, que quase sempre, está localizada nos ambientes próximos aos leitos fluviais (MONTEIRO, 1991). Nesta perspectiva, o grau de vulnerabilidade não se expressa somente pela magnitude do desastre (a intensidade e abrangência de uma inundação ou de um alagamento), mas também pela menor ou maior capacidade da população exposta ao risco em absorver o impacto e minimizar seus efeitos.

Assim neste trabalho o conceito referente à vulnerabilidade não será considerado, pois não há na literatura um estudo prévio, um mapeamento ou um relatório técnico que mostre que a área seja afetada por inundações e/ou alagamentos. Nesse sentido, os estudos relativos às vulnerabilidades necessitam de um estudo prévio acerca das áreas suscetíveis, bem como o levantamento de uma série de indicadores de grandeza socioeconômica conforme apontado nesse item, para posteriormente serem classificadas de acordo com o seu grau de risco.

3.5 Cartografia da Inundação e Alagamento

No Brasil e nos demais países do mundo diferentes metodologias vêm sendo aplicadas no mapeamento das áreas de perigo, risco, suscetibilidade e vulnerabilidade, principalmente relacionadas às inundações tendo como referência os trabalhos realizados por Rosa et al. (2008), Santos et al. (2010), Pilger (2011) e Grassi et al. (2013). O estudo direcionado ao mapeamento de

áreas suscetíveis a inundações e alagamentos é de fundamental importância, sobretudo no que concerne aos estudos e relatórios de impactos ambientais, pois fornece subsídios ao planejamento territorial e zoneamento ambiental.

O desenvolvimento destes mapeamentos envolve a necessidade de investimento por parte do município ou do órgão responsável pelo gerenciamento no controle de enchentes, para a realização do levantamento topográfico, a batimetria do local, o que torna o trabalho um pouco oneroso. Para regiões onde os dados de vazão e de chuva são escassos, em geral, utilizam-se dados obtidos através de modelos hidrológicos, de acordo com o tempo de retorno a ser utilizado e a duração da precipitação (BARBOSA, 2006).

Kafle et al. (2006), para fazerem um mapeamento das áreas de perigo a inundação no rio Bagmati, na região do Terai, no Nepal, integraram um modelo de simulação de inundação e dados de sensoriamento remoto com dados de topografia e socioeconômicos em um SIG. Segundo os autores, o modelo hidrológico, em combinação com o MDE (Modelo Digital de Elevação) é útil para o delineamento da extensão da área afetada e para estimar a profundidade da inundação em locais em que não estão disponíveis imagens dos períodos de pico de inundação.

Santos (2010) gerou uma ferramenta de avaliação de risco, para o auxílio da tomada de decisão, por meio de um modelo matemático de células de escoamento para a bacia, onde se procurou estimar as cotas de inundações e as respectivas áreas de alagamento para uma precipitação real, considerando o cálculo do escoamento superficial e as condições de vazão do canal em relação ao nível da maré do Rio Guamá, na cidade de Belém-PA, considerando também as cotas altimétricas do terreno.

De acordo com Samarasinghea et al. (2010), a avaliação do risco de inundação é a estimativa de todos os efeitos adversos provocados pela inundação. Nesse sentido, o mapeamento das áreas de risco depende, necessariamente, do mapeamento das áreas de vulnerabilidade, tornando viável a sobreposição entre os temas geográficos que compõem esse ambiente.

Grassi et al. (2013), para realizar o mapeamento da vulnerabilidade às inundações e deslizamentos de terra do Estado do Paraná, utilizou seis parâmetros geofísicos: Uso do solo e cobertura vegetal, declividade, tipo de solo,

geomorfologia e sobre proximidade da rede viária e proximidade de superfícies líquidas.

Rosa et al. (2008), para elaboração do mapa de risco de inundação na bacia hidrográfica do rio de Alegre, no estado do Espírito Santo, propuseram um modelo matemático utilizando 5 parâmetros: pedologia, altitude, declividade, uso e cobertura do solo e precipitação para o verão. Segundo Santos et al. (2010), os fatores determinados como importantes e que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma enchente até repercutir na inundação ou áreas com potencial natural a alagamentos, independente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso e cobertura da terra e tipo de solo. Pilger (2011), aplicou um modelo semelhante para mapeamento de risco a inundação na bacia do rio Taquari-Antes, RS, através da análise multicritérios por meio do SIG.

Em todos os trabalhos citados para o mapeamento, a importância relativa de cada parâmetro de entrada utilizado no modelo foi utilizado o método da Análise Hierárquica dos Processos (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) para hierarquização das variáveis envolvidas e posteriormente aplicação de álgebra de mapas na combinação das informações temáticas utilizadas e geração dos mapas sínteses no ambiente SIG. Os mapas foram elaborados a partir da combinação de outros mapas e informações temáticas, onde são atribuídas notas e pesos a cada fator condicionante da instabilização, a partir da experiência adquirida. Este procedimento se tornou comum nos últimos tempos, principalmente com o desenvolvimento dos SIG, mas ainda possui limitações para o uso generalizado (CARDOZO, 2009).

Embora, o método AHP seja criticado pela subjetividade, pois depende do conhecimento do problema pelo pesquisador, e dos critérios referentes aos problemas interpretados distintamente por cada especialista, dificultando a comparação, sobretudo, em diferentes localidades com especificidades físicas e sociais distintas, neste trabalho, ele será implementando num SIG para gerar o mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento proposto na pesquisa, para posteriormente ser analisado e validado com outras informações descritivas da área de estudo.

3.6 Conceitos e Modelos de Análise Hidrológica

3.6.1 Ciclo Hidrológico

Ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela radiação solar associada à gravidade e à rotação terrestre (TUCCI, 2004).

Constitui basicamente em um processo contínuo de transporte e transformação física de massas d'água do oceano para a atmosfera, sendo os fenômenos de evaporação e precipitação, o principal elemento responsável pela circulação de água no globo conforme é mostrado na Figura 7 (ANJOS, 2010).

Figura 7. Ciclo hidrológico.



Fonte: Ambiente Brasil (2011).

Sendo assim, a hidrologia está basicamente ligada ao uso da água, ao controle da ação da mesma sobre a população e ao impacto gerado sobre a bacia e ao sistema hidrológico.

O crescimento dos centros urbanos afeta diretamente o ciclo hidrológico em um ambiente natural. O que determina o meio natural são a ação da água e outros condicionantes físicos. Os mecanismos naturais de dissipação das águas (evaporação, transpiração, infiltração e escoamento superficial) são reduzidos drasticamente, o que faz aumentar o escoamento, diminuindo o tempo de

concentração (KAMIGASHIMA, 2011). Os impactos nos cursos dos rios são: erosão, assoreamento e enchentes (BARBOSA, 2006).

A ocupação do solo de forma desordenada, sem qualquer planejamento ou estudo prévio, eleva a ocupação de áreas irregulares e práticas impróprias de utilização do solo e recursos naturais. E desse modo há probabilidade da ocorrência de enchentes e inundações cresce, assim como as áreas alagadas pela alteração e apropriação da ocupação antrópica na bacia.

Com o desenvolvimento urbano, a cobertura vegetal é alterada afetando o ciclo hidrológico natural. Também a cobertura da bacia hidrográfica é transformada em pavimentos impermeáveis e o escoamento pluvial é canalizado. Com a redução da infiltração no solo, o volume que deixa de se infiltrar escoar pela superfície e o nível do lençol freático diminui por falta de alimentação. Sem a cobertura natural vegetal ocorre uma redução da evapotranspiração, para agravar ainda mais a situação (TUCCI, 2000).

A hidrologia então como ciência está voltada para a representação dos processos físicos que ocorrem na escala da bacia hidrográfica. Em diferentes partes do mundo foram equipadas bacias representativas e experimentais que permitem observar em detalhes o comportamento dos diferentes processos. Com base no registro das variáveis hidrológicas envolvidas é possível entender melhor os fenômenos e procurar representá-los matematicamente (TUCCI, 1993).

Ainda segundo Tucci (1993), o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma drenagem definida. Quando a bacia hidrográfica rural possui cobertura vegetal, o escoamento sofre a interferência desta, tendendo a retardar o escoamento e aumentar as perdas por evapotranspiração. O escoamento superficial é, portanto, considerado como elemento mais importante do ciclo hidrológico, podendo ser aplicado ao sistema de manejo de uma bacia hidrográfica.

O ciclo ocorre após o início de um evento de chuva, e se efetiva quando a camada superior do solo fica saturada, onde a vegetação e as diferenças altimétricas não têm mais capacidade de reter a água, resulta no escoamento (TUCCI, 1993). Para análise do escoamento superficial devem-se levar em conta alguns fatores que intervêm no processo, determinantes ou não para retardar o

deslocamento da água em superfície, tal como a permeabilidade do solo, uso e cobertura e características topográficas.

3.6.2 Modelos hidrológicos

O modelo hidrológico é uma ferramenta que a ciência desenvolveu, para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (BARBOSA, 2006). É usado em pesquisas de bacias hidrográficas para estruturar dados, estudar as respostas do local, selecionar e avaliar parâmetros, estudar a significância da variabilidade espacial e temporal das características físicas e determinar observações necessárias para encontrar um grau de precisão em um período específico de tempo (BUCHIANERI, 2004).

De acordo com Vianna (2000), os modelos chuva-vazão, que representam a parcela do ciclo hidrológico entre a precipitação e o escoamento superficial, possibilitam a determinação das vazões em função dos dados de precipitação. Partindo-se dos registros de precipitação, é possível completar vazões desconhecidas ou estimar as mesmas para os novos cenários existentes ou previstos para as bacias.

Ainda segundo o autor, os modelos hidrológicos de transformação da chuva em vazão são utilizados para simular o hidrograma de escoamento superficial correspondente às precipitações de projeto para diferentes durações e frequências. O hidrograma obtido será então utilizado para avaliar os impactos sobre as vazões em locais a jusante, o que contribui para a avaliação da eficiência da adoção de determinados critérios de controle contra cheias em uma bacia hidrográfica (VIANNA, 2000).

Segundo Barbosa (2006), na atualidade, diversos estudos utilizando modelos hidrológicos são realizados para melhor compreender os processos físicos numa bacia hidrográfica: estudos de prevenção de inundação, operação de reservatórios, planejamento e uso dos recursos hídricos, estudos de impactos antrópicos em bacias urbanas e rurais, drenagem urbana, entre outros. Na

literatura há dois grandes grupos de modelos dentro do processo de simulação hidrológica (BARBOSA, 2006).

O primeiro se consistem nos modelos Estocásticos; se a chance de ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos (CHOW, 1964). Normalmente estes modelos fazem uso de séries observadas de vazões em determinados pontos e, a partir de certas hipóteses sobre seu comportamento, permitem que estas sejam representadas por um dos diversos tipos de modelos de séries temporais normalmente utilizados. O segundo tipo mais utilizado na literatura consiste nos modelos determinísticos; quando o modelo segue uma lei definida que não a lei das probabilidades, o modelo e os processos são ditos determinísticos. O objetivo destes modelos é de representar o sistema físico natural, isto é, os processos do ciclo hidrológico, considerando que, a partir dos dados de entrada tais como precipitação, umidade do solo, cobertura vegetal, entre outros, possa ser fornecida as séries de vazões (XAVIER, 2002). Estes modelos são denominados modelos chuva vazão.

Quanto à forma com que o modelo representa a variabilidade espacial dos processos, estes podem ser de forma distribuída, ou seja, quando as variáveis e parâmetros do modelo dependem do espaço e do tempo. Estes modelos permitem que toda a área seja discretizada por elementos regulares ou irregulares, considerando seus aspectos de homogeneidade. Permite, ainda espacializar a precipitação de acordo como sua variabilidade espacial o que torna a simulação mais próxima da realidade local. A outra forma de representação são os modelos concentrados, quando não leva em conta a variabilidade espacial, isto é, os parâmetros físicos relacionados com o solo, a vegetação e a chuva são considerados homogêneos para toda a bacia. A precipitação média de uma bacia é um exemplo de integração espacial de variável de entrada.

Segundo Tucci (1998), um modelo é representado de algum objeto ou sistemas, de forma simplificada, com objetivo de entendê-lo e buscar respostas plausíveis. Os modelos de chuva - vazão, neste sentido, irão representar os dois processos físicos naturais que fazem parte do ciclo hidrológico.

A simulação é o processo de utilização de modelo, existindo em geral três fases: uma de calibração (ou ajuste do modelo), outra de validação (ou

verificação) e previsão. A calibração ou estimativa de parâmetros é a fase de simulação em que os parâmetros são determinados; a verificação (ou validação) é a simulação do modelo com os parâmetros estimados em que se verifica a validade do ajuste realizado; e a previsão é a simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para quantificação de suas respostas a diferentes entradas. O ajuste de parâmetros depende da disponibilidade dos dados históricos, medições da amostra, e determinação da característica física do sistema (BARBOSA, 2006).

De acordo com Tucci (1998), os métodos utilizados para as estimativas de parâmetros são:

1. Estimativas sem dados históricos: quando não existem dados sobre as variáveis do sistema, podem-se estimar os valores dos parâmetros baseando-se em informações das características do sistema. Em geral, cada parâmetro possui um intervalo de variação possível, obtido pela literatura;
2. Ajuste por tentativas: é o processo em que existindo valores das variáveis de entrada e saída, são obtidos por tentativa os parâmetros que melhor representem os valores observados através do modelo utilizado;
3. Ajuste por otimização: utiliza os mesmos dados do processo por tentativa, mas, por métodos matemáticos, otimiza uma função objetivo que retrata a diferença entre os dados observados e calculados pelo modelo.

Neste sentido, modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos para realizar estudos voltados à análise dos principais efeitos da urbanização nos recursos hídricos. Entre eles, destaca-se o elaborado pelo *Soil Conservation Service* (SCS), que permite a partir do parâmetro *Curve Number*, identificar características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies do terreno. No próximo item será abordado sobre o modelo hidrológico *Curve Number* (CN), utilizado nesta pesquisa para modelagem do escoamento superficial espacialmente distribuído.

3.6.3 Modelo Hidrológico *Curve Number* (CN)

O modelo hidrológico *Curve Number* (*Soil Conservation Service*, SCS, 1971) é bastante conhecido e difundido na conservação do solo e da água, sendo usado para estimar o escoamento superficial direto gerado por um determinado evento de precipitação pluviométrica (NUNES, 2012). O modelo é fundamentado em um parâmetro que busca descrever o tipo de cobertura e uso da terra, condição da superfície do terreno (altitude) e tipos de solos, em relação ao potencial de gerar escoamento superficial.

Segundo Ruhoff (2007) o método *Curve Number* é amplamente utilizado para estimar o escoamento superficial, e, conseqüentemente o fluxo de rios, a recarga de água, o volume de infiltração, a umidade do solo e o transporte de sedimentos. Muitos autores apresentam estudos sobre o modelo *Curve Number*, entre eles Mack (1995), Johnson e Miller (1997), Pullar e Springer (2000), Tucci (2000) e Mantovani et al. (2013).

O modelo hidrológico *Curve Number* desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1975) é um modelo empírico muito utilizado devido ao número reduzido de parâmetros estabelecidos em relação aos parâmetros das características fisiográficas de bacias hidrográficas. É indicado, sobretudo, para utilização em pequenas bacias, através de dados de bacias experimentais com vários tipos e uso do solo e técnicas de plantio. Como a equação do escoamento superficial foi desenvolvida a partir de dados de chuva diária, o método é adequado para estimativa do escoamento superficial direto para o período de 1 dia ou menos (TASSI et al. 2006).

A proposta deste modelo consiste em subsidiar programas de planejamento e gerenciamento de bacias que visam o plano de manejo adequado à utilização dos recursos, seja para agricultura, abastecimento urbano, em construções de barragens para usinas hidrelétricas e até mesmo para precaver problemas à sociedade quanto aos riscos de inundações, alagamentos e situações que decorrem na área rural também (TUCCI, 2000; SCS, 1972).

As características gerais dos grupos hidrológicos de solos, inicialmente propostas para os EUA (SCS, 1972), são ainda usadas no Brasil. Por serem

baseadas principalmente na textura dos solos elas não fornecem critérios objetivos para sua aplicação, pois a textura não é suficiente para classificar um solo hidrológicamente (SARTORI e GENOVEZ, 2011). A classificação hidrológica de solos revisada do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS, 2009), antigo *Soil Conservation Service* (SCS, 1972), possui critérios claros e objetivos, mas para serem aplicados necessitam de medições de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil de solo. Estes dados são escassos no Brasil.

Assim, nessa pesquisa foi utilizada a proposta de Sartori e Genovez (2011) para classificação hidrológica de solos, como alternativa para minimizar a dificuldade de classificar um solo hidrológicamente sem ter dados de condutividade hidráulica saturada conforme aponta os autores dessa dificuldade.

As definições dos grupos hidrológicos de solo foram estabelecidas, as quais são descritas a seguir, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006). A combinação dessas informações resultou em dezenove critérios de classificação hidrológica de solos, os quais são apresentados na Tabela 1.

No grupo hidrológico A, foram associados solos que possuem permeabilidade rápida e não apresentam dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso e camada restritiva forte ou moderada. Neste grupo podem ser incluídos solos arenosos, solos bastante intemperizados de textura média, argilosa ou muito argilosa, com teor de óxido de ferro elevado e/ou propriedades ácricas.

Tabela 1. Classificação dos grupos hidrológicos de solo.

Perfil	Prof. (cm)	Classe Textural do USDA (<i>Soil Survey Division Staff, 1993</i>)	GHS – Classificação Proposta	GHS – Classificação do NRCS (2009)
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto	0 - 12 12 - 28 25 - 51 57 - 87 87 - 120	Areia Franca Areia Franca Franco argilo arenoso Franco argilo arenoso Franco argilo arenoso	GHS C Mudança textural abrupta dentro de 50 cm de profundidade	GHS C Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade;

Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto	0 - 28 28 - 65 65 - 80 80 - 108	Areia Areia Franca Franco arenoso Franco argilo arenoso	GHS B Mudança textural abrupta dentro de 50 e 100 cm de profundidade	GHS B Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade
Argissolo Amarelo coeso	0 - 20 20 - 46 46 - 67 67 - 103	Franco argilo arenoso Argila arenosa Argila Argila	GHC C Horizonte coeso dentro de 50 cm de profundidade	GHC C Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade
Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa	0 - 10 10 - 35 35 - 70 70 - 150	Argila Argila Argila Argila	GHS B Textura argilosa, baixo teor de óxido de ferro sem propriedades ácricas	GHS A Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100cm de profundidade
Latossolo Amarelo coeso	0 - 17 17 - 35 35 - 70	Franco argilo arenoso Franco argilo arenoso Argila arenosa	GHC C Horizonte coeso dentro de 50 cm de profundidade	GHC A Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade
Neossolo Quartzarênico	0 - 16 16 - 30 30 - 50 50 - 66 66 - 84 84 - 104	Areia Franca Areia Franca Areia Areia Areia Areia	GHS A Solo de textura arenosa até a camada restritiva que está abaixo de 100 cm de profundidade	GHS A Cama impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade
Neossolo Litólico	0 - 37 37 - 55	Franco arenoso Franco arenoso	GHS D Contato lítico a 50 cm de profundidade	GHS D Camada impermeável dentro de 50 cm de profundidade
Gleissolo Háplico tb Distrófico	0 - 10 10 - 23 23 - 61 61 - 121	Areia Areia Areia Areia	GHS D Horizonte glei inicia-se a 25cm da superfície. Isso indica lençol subterrâneo elevado	GHS D Lençol subterrâneo elevado em algum mês do ano

Fonte: Sartori & Genovez, 2011.

No grupo hidrológico B, foram associados os solos que possuem permeabilidade moderadamente rápida e não apresentam dentro de 100 cm de

profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso e camada restritiva forte, mas podem apresentar camada restritiva moderada entre 50 e 100 cm de profundidade. Neste grupo se enquadram solos bastante intemperizados de textura média, argilosa ou muito argilosa, com teor de óxido de ferro médio a baixo e sem propriedades ácricas, solos que apresentam ou mudança textural abrupta ou horizonte coeso ou horizonte plíntico entre 50 e 100 cm de profundidade e solos Tb com horizonte B textural ou B incipiente com caráter latossólico.

No grupo hidrológico C, foram associados solos que possuem permeabilidade moderadamente lenta e não apresentam dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso, mas podem apresentar camada restritiva forte entre 50 e 100 cm ou camada restritiva moderada dentro de 100 cm de profundidade. Este pode incluir solos arenosos e solos bastante intemperizados que apresentam camada restritiva forte entre 50 e 100 cm, solos Tb que podem apresentar ou mudança textural abrupta ou horizonte coeso ou horizonte plíntico dentro de 50 cm de profundidade, solos Ta que podem apresentar ou mudança textural abrupta ou horizonte coeso ou horizonte plíntico entre 50 cm e 100 cm de profundidade e solos Ta com horizonte B textural.

No grupo hidrológico D, foram associados solos que possuem permeabilidade lenta e podem ou não apresentar dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso, camada restritiva forte e moderada. Neste grupo está incluída uma variedade de solos, desde arenosos a argilosos, devido às condições limitantes presentes. Por exemplo, um solo de textura arenosa pode ser classificado como D pela presença de lençol d'água subterrâneo a profundidade inferior a 100 cm ou por apresentar camada restritiva forte dentro de 50 cm de profundidade ou horizonte vértico sem apresentar qualquer camada restritiva ou lençol d'água dentro de 100 cm de profundidade.

O método do CN permite mostrar o efeito das mudanças no uso e na cobertura do solo sobre o escoamento superficial. Os valores de CN variam entre 1 e 100. Valores altos de CN indicam alto escoamento (MELESSE; SHIH, 2002).

Neste método, os grupos hidrológicos de solos são combinados com o uso e cobertura da terra predominante na área, gerando um valor de deflúvio diferencial de acordo com os tipos de superfície. Na literatura adotada, há duas

tabelas que apresentam estes parâmetros do *Curve Number* (CN), tanto para bacias localizadas na área rural, quanto para bacias localizadas em áreas urbanas (TUCCI, 1998). Como neste caso, a BCI encontra-se na área rural do município de Aquidauana, foi adotada a classificação de CN para bacias rurais.

Na Tabela 2 identificam-se os diferentes valores de CN de acordo com características da superfície e de GHS, para bacias rurais como citado acima.

Tabela 2. Valores CN considerando características das superfícies e do uso do solo em bacias rurais.

Uso do Solo	Superfície	GHS			
		A	B	C	D
Terrenos Cultivados	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações Regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	99
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos Permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
Área Urbana	Densos, de alta transpiração	25	55	70	77
	Zonas adensadas	61	75	83	87
	Muito esparsas, de baixa transpiração	56	75	86	91
Florestas	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: SCS, 1972, adaptada por TUCCI, 1998.

O CN deve ser ponderado em função do uso e cobertura do solo e dos tipos de solo através da equação (1).

Equação 1. *Curve Number* (CN)

$$CN_p = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Onde CN_p é o valor de curva-número ponderado (adimensional); CN_i é o valor da curva-número de cada grupo de uso e cobertura da terra e tipo do solo

(reclassificado em grupos hidrológicos) na bacia hidrográfica (adimensional); A_i é a área de cada grupo de uso e cobertura da terra e tipo do solo na bacia (km^2); $\sum_{i=1}^n A_i$ é a área total da bacia hidrográfica (km^2).

O escoamento superficial definido pelo modelo *Curve Number* é dado pela Equação 2.

Equação 2. Escoamento Superficial (Q)

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S}$$

Na Equação 2, Q corresponde ao escoamento superficial (mm), P corresponde a precipitação (mm) e S correspondem ao potencial de infiltração máximo após o início do escoamento superficial. O parâmetro S está relacionado ao solo e às condições de cobertura da bacia de drenagem, definido pela Equação 3.

Equação 3. Potencial de Infiltração Máximo.

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$$

Para aplicação deste modelo deve-se considerar a precipitação que ocasionou o escoamento, denominada de precipitação efetiva. A determinação desta precipitação é feita através da Equação 2, onde P representa a precipitação (mm) e S é a retenção potencial do solo (mm). O Valor de S (Equação 3) é apresentado em função do valor *Curve Number* (*Soil Conservation Service* – SCS) apresentados na Tabela 2.

3.7 Análise Multicritérios: Método de análise hierárquica (AHP)

Na análise de multicritérios a definição dos pesos de compensação (pesos de fatores) pode ser realizada com o auxílio de vários métodos, tais como: Método de Ordenamento de Critérios, Método de Escala de Pontos, Método Baseado na Distribuição de Pontos e o Processo de Análise Hierárquica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*) (SILVA et al. 2004 apud PILGER, 2011).

Câmera (2001) e Silva (2004) apud Silva (2006) comentam que, a capacidade de comparar e avaliar as diferentes possibilidades de geração de mapas é um dos grandes desafios da produção de novas informações em um SIG. Esses sistemas oferecem uma ampla gama de funções de álgebra de mapas, porém nem sempre é uma tarefa fácil escolher quais aplicar na combinação dos dados. Assim, é benéfico dispor de ferramentas de suporte à decisão, que auxiliem organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados.

Dentre os métodos mais promissores e comumente utilizados tem-se o método AHP, o qual permite atribuir pesos aos fatores, no contexto de tomada de decisão (PILGER, 2011). Weber e Hasenack (1999), utilizaram a análise de múltiplos critérios em ambiente SIG com o objetivo de contribuir para minimizar a subjetividade dos projetos de assentamentos rurais.

Essas ferramentas foram empregadas para determinar um zoneamento da qualidade das terras para fins de uso agrícola em propriedades rurais a serem parceladas, localizadas próximas à cidade de Hulha Negra no Rio Grande do Sul. Neste estudo, foram estabelecidos os seguintes mapas de fatores: capacidade de uso do solo, uso e cobertura do solo, distância da rede de drenagem, distância de rodovias e declividade do terreno. Segundo os autores, o método de Combinação Linear Ponderada permitiu a compensação entre os fatores, de forma que uma alta aptidão em relação à declividade pode compensar uma baixa aptidão de uso do solo no mesmo local.

No cenário inverso, uma alta aptidão de uso do solo pode compensar uma baixa aptidão em relação à declividade. O grau com que cada fator impacta o resultado final foi determinado pelo seu peso.

A análise multicritérios permite avaliar a relação das variáveis ambientais tais como (precipitação, declividade, tipo de solo, geomorfologia e altitude, cobertura vegetal e recursos naturais) com variáveis socioeconômicas que atuam na produção do espaço (escoamento superficial, uso e ocupação da terra) na formação de áreas suscetíveis às inundações e alagamentos, atribuindo pesos para cada variável, esses pesos variam de acordo com a influência de cada variável tem a favorecer a formações desses fenômenos.

3.7.1 Método de análise hierárquica (AHP)

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty no início da década de 70, na escola de Wharton na Universidade da Pensilvânia. Consiste em construir uma escala de importância entre os fatores analisados e posteriormente colocá-los em uma matriz de relacionamento para ser feita uma comparação pareada, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os mesmos (BERGER et al. 2007). Este método determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa priorizando-a ao utilizar o método (GOMES et al. 2004).

É o método de multicritério mais amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão na resolução de conflitos negociados, em problemas com múltiplos critérios. Baseia-se no método newtoniano e cartesiano de pensar, que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar (MARINS et al. 2009).

O *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006) define AHP como uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um *ranking* total das alternativas.

Saaty (1991) explica que a determinação das prioridades dos fatores mais baixos com relação ao objetivo reduz-se a uma sequência de comparação por pares, com relações de *feedback*, ou não, entre os níveis. Essa foi a forma racional encontrada para lidar com os julgamentos. Através dessas comparações por pares, as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra.

3.7.2 Benefícios, limitações e Aplicações do AHP

Segundo Saaty (1994), o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Grandzol (2005) afirma que, por reconhecer que participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos pobres em algumas comparações, o método de Saaty envolve comparações redundantes para melhorar a validade destas. O autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade.

Assim, as aplicações do AHP incluem e medem todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista. Contudo, é preciso reconhecer as limitações também. Uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva ou como desperdício de tempo (GRANDZOL, 2005).

Convém, também, destacar as aplicações já efetuadas com o método. Provou-se a aplicabilidade do método AHP no mercado profissional e também no meio acadêmico. No campo acadêmico, as áreas de aplicações de sucesso incluem seleção de corpo docente (GRANDZOL, 2005), prioridades de pesquisa de agricultura internacional (BECKER, 2004), medição de eficiência do

gerenciamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento em universidades (FENG, 2004).

3.7.3 Processos de Hierarquização do AHP

A metodologia do AHP constitui-se de decomposição por hierarquias e síntese para identificação de relações através de escolhas coerentes. A prática da tomada de decisões está ligada à avaliação de alternativas, todas satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos.

O bom uso da escala de prioridades necessita da compreensão do que são os julgamentos no método criado por Saaty. Um julgamento ou comparação é representação numérica de uma relação que possui o mesmo par. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada na Tabela 3, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério com relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre o outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis 1 e 9. Além disso, desconsiderando a comparação entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas da matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados.

Tabela 3. Comparações do AHP.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra.	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência e o julgamento favorecem

		fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero.	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando se compara com a atividade j tem o valor recíproco quando comparada com i .	Uma designação razoável.
Racionais.	Razões resultantes da escala.	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n , somente para completar a matriz.

Fonte: Saaty (1991).

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com relação a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala de 1 a 9 da Tabela 3.

3.7.4 Passos para Aplicação do AHP

Na referência (*PUC-Rio* - Certificação Digital N° 0511098/CA) resumem-se os seguintes passos para aplicação do AHP:

- 1) Definir o problema e o que se procura saber. Expor as hipóteses refletidas na definição do problema, identificar as partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.

- 2) Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas. Do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). Caminhando o topo para a extremidade, a estrutura do AHP contém objetivos, critérios (parâmetros de avaliação) e classificação de alternativas (medição da adequação da solução para o critério). Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante certificar-se de que os níveis sejam consistentes internamente e completos, e que as relações entre os níveis estejam claras.
- 3) Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima. Em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos de nível superior. Em outras hierarquias elementos de nível inferior afetam somente alguns elementos do nível superior, exigindo a construção de matrizes únicas.
- 4) Fazer os julgamentos para completar as matrizes. Para isso são necessários $n(n - 1)/2$ julgamentos para uma matriz $n \times n$, sendo n a dimensão da matriz. O analista julga se o elemento A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha A com a coluna B. A posição coluna A com a linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz. Os valores inseridos são aqueles da escala de comparação da Tabela 3.
- 5) Calcular o índice de consistência (IC): O índice de consistência é dado pela equação 4:

Equação 4. Índice de Consistência.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Onde n é a ordem da matriz e λ_{max} é o maior autovalor associado à matriz. Como regra geral, se o índice de consistência for menor que 0,1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior que 0,1

recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos até que a consistência seja obtida.

Saaty (1991) sugere o uso da razão de consistência (RC), que considera o IC e o índice randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra. A RC é dada pela equação 5:

Equação 5. Razão de Consistência.

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Saaty (1991) propõe a Tabela 4, onde são encontrados os valores de IR de matrizes de ordem 1 a 12 calculados em laboratório.

Tabela 4. Índice Randômico Médio do AHP.

Ordem da matriz n												Índice Randômico IR											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,58	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,58

Fonte: Saaty (1991).

- 6) Analisar as matrizes para estabelecer as prioridades locais e globais, comparar as alternativas e selecionar a de melhor opção.

A seguir serão explicitados os principais conceitos de geotecnologias e técnicas de geoprocessamento utilizadas no desenvolvimento dessa pesquisa, que permitiram o uso de dados provenientes de sensores remotos integrados com dados espaciais de cartografia digital implementados em um sistema de informação geográfica (SIG), fundamentados em conjunto com o referencial teórico metodológico, para aplicação do modelo hidrológico *curve number* (CN) e na análise multicritério baseado no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para atender os objetivos propostos na pesquisa.

3.8 Geotecnologias, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Rosa (2005), também conhecidas como “Geoprocessamento” as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Câmara e Medeiros (1998), definem o geoprocessamento sendo a área de conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e têm influenciado, de maneira crescente, diversas áreas do conhecimento como: cartografia, análise de recursos naturais, comunicações, transportes, energia, planejamento urbano e regional entre outras.

Para Moreira (2005), geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para dados e objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou, extrair informações destes objetos ou fenômenos quando eles são observados por um sistema sensor.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2005) define geoprocessamento como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objeto específico.

Sensoriamento Remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de obtenção de informação de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico direto com ele. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, geradas por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como, por exemplo, o RADAR (ROSA, 1993; MOREIRA, 2003; NOVO, 2010).

Os sensores são constituídos basicamente por um coletor e um sistema de registro. São utilizados na aquisição e registro de informações de alvos e podem ser classificados como: ativo (envia a energia e recebe-a de volta); passivo (utiliza a REM vinda do sol); óptico e microondas (quanto à região do espectro eletromagnético (EEM) em que atua); imageador (resultado final é uma imagem) e não-imageador (quanto ao formato de dado produzido). São exemplos de sensores remotos os sistemas que adquirem imagens da superfície terrestre a bordo de plataformas sub-orbitais (aviões) ou orbitais (satélites) (ROSA, 1995).

A realização de trabalhos que utilizam fotografias aéreas ou imagens de satélite com fins de levantamento, monitoramento ou mapeamento devem seguir algumas etapas que são: definição dos objetos, escolha da área de estudo, solicitação dos produtos, revisão bibliográfica, coleta dos dados, interpretação visual preliminar, trabalho de campo, interpretação final e relatório (ROSA, 1995).

As técnicas de sensoriamento remoto, com a obtenção de fotografias aéreas e imagens de outros sensores (satélite, radar), são úteis para vários tipos de estudos diretamente ligadas aos trabalhos de: planejamento urbano, monitoramento de cidades, aproveitamento do solo agrícola, rede viária, geologia, solos, transportes, uso da terra, controle ecológico, serviços públicos, e principalmente, as imagens aéreas são imprescindíveis para a elaboração de mapas (CAMPBELL, 1996).

O uso de imagens de sensoriamento remoto permite um estudo uniforme da região, mesmo em locais de difícil acesso. A quantidade e a disponibilidade de informações contidas nas fotos possibilitam refazer o estudo ou voltar a considerar um elemento de interesse a qualquer hora, independente das condições atmosféricas, sendo uma fonte precisa e confiável (SANTOS, 2001).

Com a evolução da tecnologia do geoprocessamento e de *softwares* gráficos, vários termos surgiram para as várias especialidades. O geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georeferenciados, sendo de fundamental importância para a confecção de mapas, constituindo-se, atualmente, na mais poderosa ferramenta ou conjunto de ferramentas utilizadas para a coleta, tratamento de informações espaciais, desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam (RODRIGUES, 1990).

Atualmente, nota-se o uso crescente dos dados matriciais do radar SRTM, para modelagem digital de terreno (MDT), que pode servir como apoio em estudos geológicos, hidrológicos, ecológicos, geomorfológicos, entre outros. Em particular, no caso da Geomorfologia, observa-se nessas imagens um bom aparato para análises quantitativas e/ou qualitativas do relevo, que, conforme Carvalho e Bayer (2008), são importantes especialmente na confecção de perfis topográficos, mapas de hipsometria e declividade, modelos tridimensionais do terreno além de outros produtos relacionados à topografia.

Além das características geomorfológicas, é possível também derivar parâmetros hidrológicos através do cruzamento de dados apoiados em equações matemáticas, bem como obter uma série de informações que coletivamente descrevem a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica para delimitar bacias hidrográficas com consistência hidrológica (Adami et al. 2011).

Corseuil (2006) apud Pilger (2011), descreve que o geoprocessamento tem por finalidade fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas avaliem a evolução espacial e temporal, bem como as inter-relações entre os diferentes fenômenos geográficos. Dentre as ferramentas estão os sistemas de informação geográfica (SIG), que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e criar banco de dados referenciados geograficamente.

Os SIG são definidos como um conjunto de ferramentas que executam as funções de coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de objetivos específicos (CORSEUIL, 2006).

O termo SIG está relacionado a sistemas que efetuam o tratamento de dados geográficos. Estes sistemas têm a função de armazenar a geometria e os atributos dos dados localizados na superfície terrestre, numa determinada projeção cartográfica. A condição de armazenar a geometria dos objetos geográficos e seus atributos representa uma dualidade básica para os SIG. Para cada objeto geográfico, ele necessita armazenar seus atributos e as várias formas de representação gráfica associadas (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

O ArcGIS é um pacote de softwares da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas (PILGER, 2011). O ArcGIS disponibiliza em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) uma gama de ferramentas de forma integrada e de fácil utilização. Além disso, apresenta funções que auxiliam no monitoramento ambiental e gerenciamento de recursos naturais, incluindo análise de séries temporais, apoio à decisão por meio de multicritérios e multiobjetivos, análise de incertezas e modelagem de simulação (PILGER, 2011).

Para Câmara e Medeiros (1998) as principais aplicações do SIG são: como instrumento para produção de mapas, como apoio em análise espacial de

fenômenos e como um banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial (CORSEUIL, 2006, apud PILGER, 2011).

A integração de modelos hidrológicos com sistemas de informação geográfica (SIG) tem sido discutida, analisada e utilizada por muitos pesquisadores, tais como Ross (1994), Montoya (1999), Tucci et al. (2000), Paiva et al. (2001), Druck et al. (2004), entre outros, principalmente ligados as ciências exatas e ambientais, a exemplo da engenharia, da hidrologia, da meteorologia e da geomorfologia, cuja tendência é um reflexo da grande capacidade dos SIG de armazenar, manipular, analisar, recuperar e visualizar informações geográficas.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGIA

4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

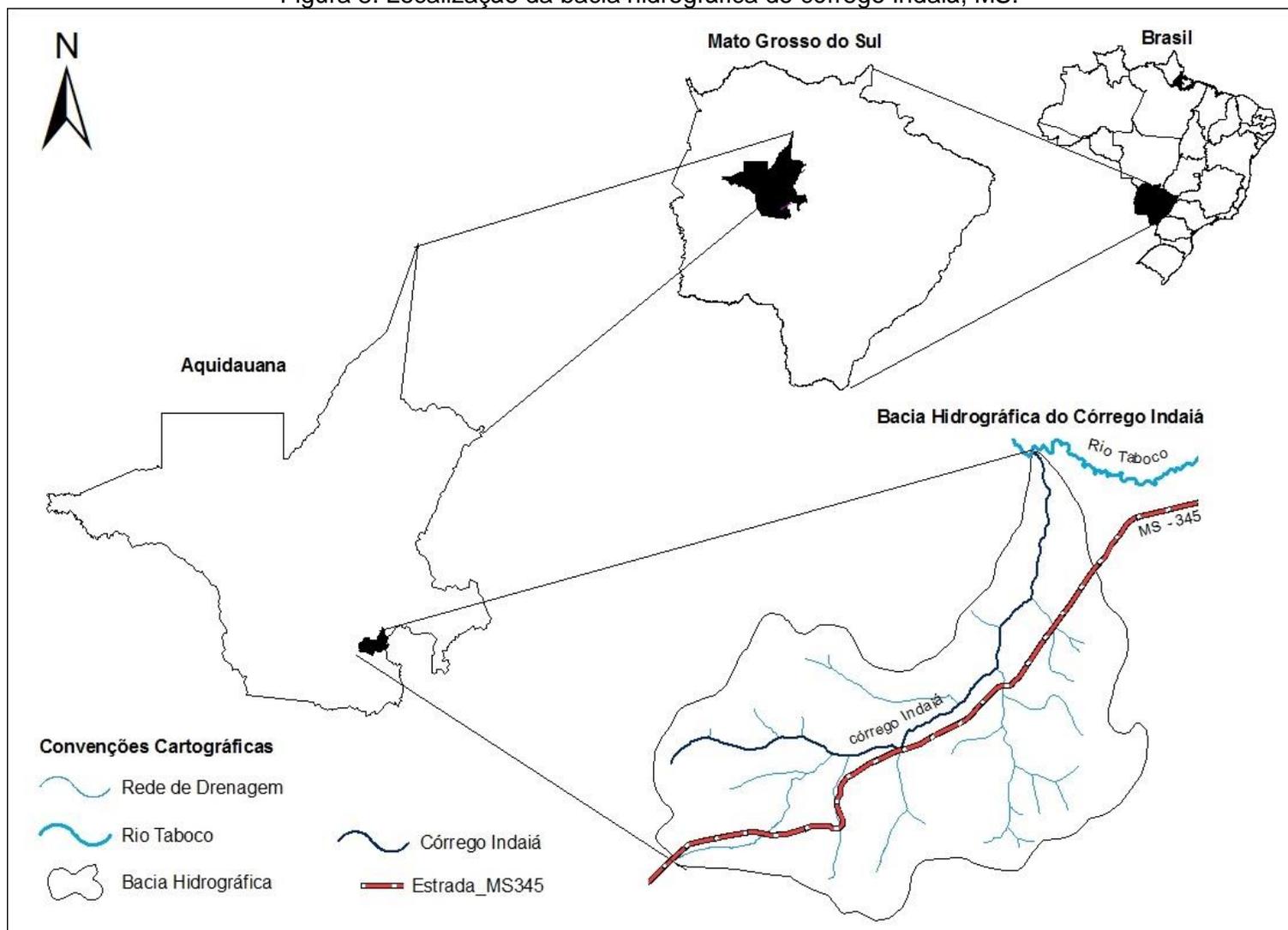
O município de Aquidauana está situado na mesorregião dos pantanais Sul-Mato-Grossenses no qual se constitui na própria Microrregião administrativa de Aquidauana. O município está localizado ao norte do estado de Mato Grosso do Sul, com extensão territorial de aproximadamente 17.008,5 km², na divisa com Corumbá.

O Rio Aquidauana deu nome ao município, sua origem vem do vocabulário dos índios da etnia Guaicuru, que significa rio “estreito”. Aquidauana tem grande parte de sua extensão territorial sob o regime das áreas alagadas do pantanal, durante o período de cheia, na faixa norte do seu limite.

Do Tupi Guarani Indaiá significa um tipo de palmeira, bastante característica do estado sul-mato-grossense, encontradas em veredas, típica da estratigrafia vegetal do cerrado, dando origem ao nome do córrego. A bacia formada pelo córrego Indaiá (BCI), abrange uma área em torno de 9.467,6 Hectares (ha), localizada na porção sudoeste do município de Aquidauana entre os paralelos 22° e 89° W e os meridianos de 53° e 23° O, situada no perímetro rural do município, próxima aos distritos de Cipolândia e Santa Fé.

O córrego Indaiá faz parte da bacia do alto rio Paraguai (BAP) sendo um importante afluente do rio Taboco, pois logo após desaguar no mesmo, suas águas e sedimentos adentram a planície pantaneira através do rio Negro na região do Pantanal da Nhecolândia, após aproximadamente 250 km desde sua nascente. A bacia é cortada pela rodovia MS-345 que liga a BR-419, sentindo sul. O grande centro urbano mais próximo da BCI é a capital Campo Grande, dista aproximadamente 145 km, tem como via de acesso a BR-262 (Figura 8).

Figura 8. Localização da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, MS.

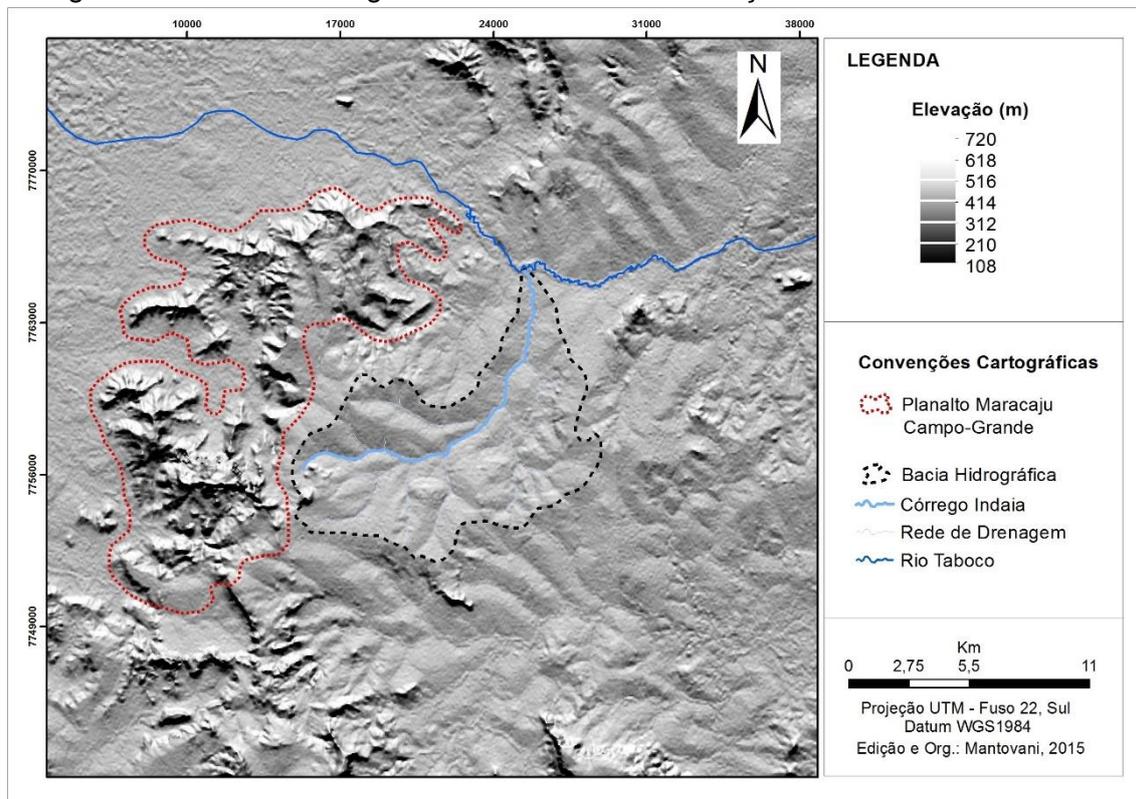


4.1.2 O quadro natural da BCI

A BCI está inserida no bioma cerrado, a vegetação predominante é a Cerrado Arbóreo Denso (Cerradão), Cerrado Arbóreo Aberto (Campo Cerrado), Savana Parque (Campo Sujo), Contato Savana/Floresta Estacional e destaca-se a presença de agropecuária e pastagem (BRASIL, 1982).

Do ponto de vista geomorfológico está inserida em duas macros unidades morfoestruturais: a bacia sedimentar do Paraná e a bacia hidrográfica do rio Paraguai, subdivididas nas unidades morfoesculturais, Planalto Maracaju-Campo Grande e Depressão do Paraguai (BRASIL, 1982). A Serra de Maracaju divide o estado do Mato Grosso do Sul em dois, a oeste da capital, Campo Grande, a leste ficam os campos de cerrado, enquanto se inicia, a oeste, o Pantanal sul-mato-grossense (Figura 9).

Figura 9. Bacia de drenagem do rio Taboco e a formação do anfiteatro de erosão.



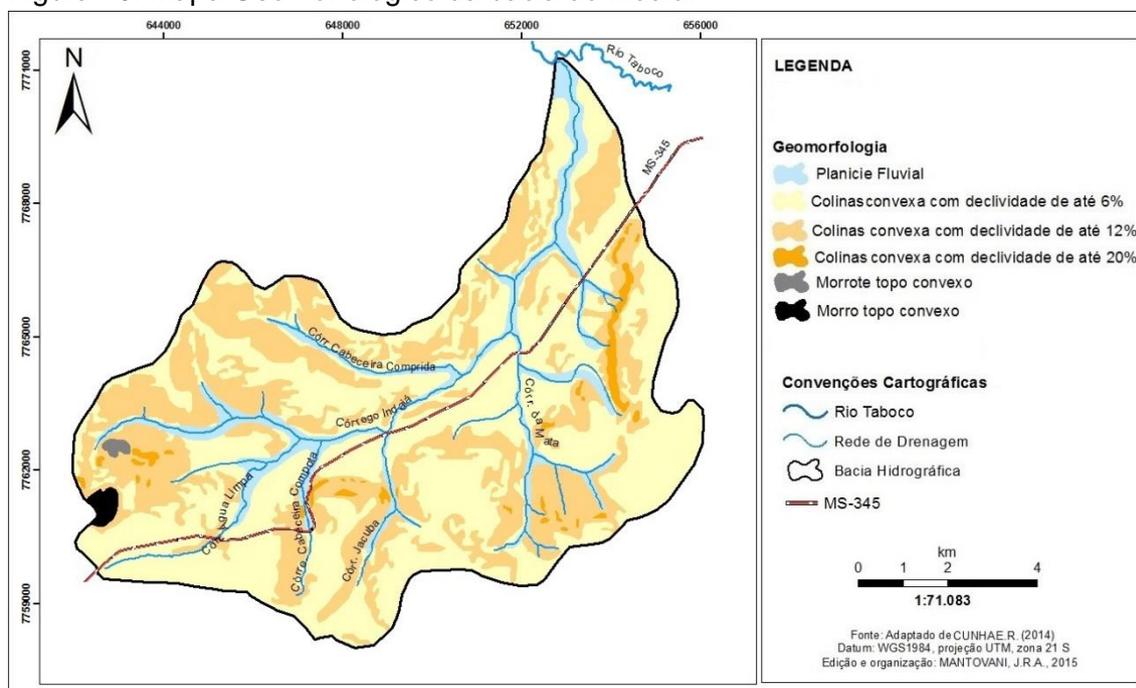
Fonte: SRTM 30m, banda X (USGS, 2015).

A unidade morfoescultural Planalto Maracaju-Campo Grande corresponde à terminação sul da borda ocidental da bacia sedimentar do Paraná, separando parte das águas que fluem para o rio Paraguai daquelas que fluem em direção à bacia do rio Paraná. Possuem cotas altimétricas que vão de 200 m a 650 m, isto decorre da existência de patamares topográficos.

Morfologicamente constituem uma extensa superfície suavemente dissecada, onde predomina formas tabulares e muito planas e trechos conservados. Secundariamente ocorrem formas de dissecação de topo convexo, geralmente relacionadas à presença de drenos mais importantes ou às bordas do Planalto (BRASIL, 1982).

Os domínios de relevo predominante são colinas amplas e suaves com declividades que variam de 6 a 20% incluindo a planície fluvial e morros e morrotes (Figura 10). A planície fluvial frequentemente na declividade < 2% em terrenos planos e levemente inclinados em direção ao canal, compreendendo a planície de inundação e baixos terraços. Associam-se a terrenos alagadiços, com mata de galeria caracterizada pela vereda, devido ao nível elevado do lençol freático (CUNHA et al. 2013).

Figura 10. Mapa Geomorfológico da bacia do Indaiá.



Fonte: Cunha et al. (2013).

A Figura 11 destaca a formação dos morros e morrotes, próximos à nascente do córrego Indaiá no extremo leste da bacia, de acordo as unidades geomorfológicas mapeadas por Cunha et al. (2013). A presença da vegetação nas áreas declivosas, de encostas, evita processos erosivos, movimentos de massa, sobretudo atua de maneira positiva no escoamento das águas superficiais, amenizando o impacto abaixo da vertente.

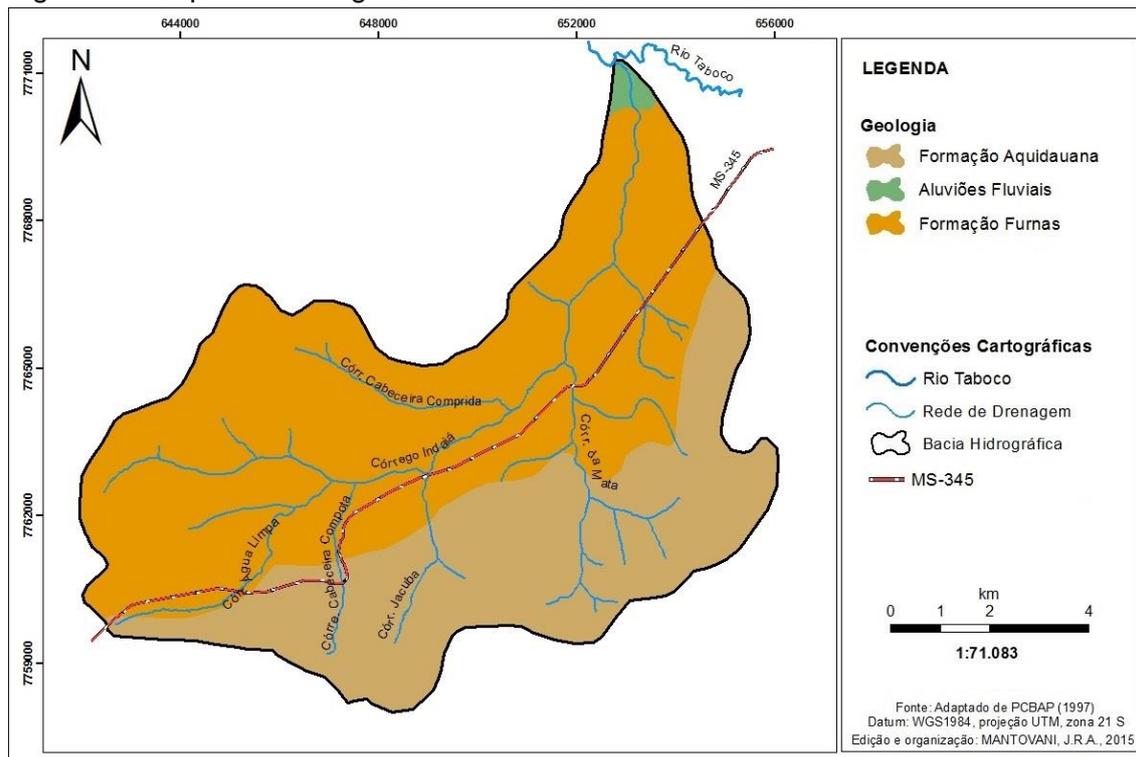
Figura 11. Morros e morrotes na borda oeste da bacia. Estrada MS345. Adjacências do assentamento Indaiá.



Fonte: Desconhecida.

A região que compreende a área da bacia hidrográfica apresenta rochas do Período Pré-Cambriano, do Grupo Corumbá (Formação Cerradinho com sedimentos clástico-carbonato e Formação Bocaina) e Grupo Cuiabá. Do período Quaternário Pleistoceno, (Formação Pantanal. A Geologia da BCI (Figura 12) é composta pelas seguintes Formações: Formação Furnas, Formação Aquidauana e por aluviões fluviais. Os depósitos fluviais e lacustres em áreas periodicamente inundáveis e/ou sujeitas a inundações ocasionais. Apresentam diferenciações pedológicas ocasionadas principalmente por oscilações do lençol freático (BRASIL, 1982).

Figura 12. Mapa de Geologia.



Fonte: Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997).

A Formação Furnas (Figuras 13 e 14) pertence à unidade litoestratigráfica do Grupo Paraná, datada do período Devoniano, era paleozoica. Distribuiu-se na área segundo uma faixa estreita de direção NE, que começa 5 km a norte de Aquidauana e penetra na folha de Campo Grande, a leste. Limita-se a oeste com os metamórfitos do Grupo Cuiabá, através de contato discordante; e a leste, com sedimentos da Formação Aquidauana (CUNHA et al. 2013)

A espessura da Formação Furnas, na área do Projeto Bodoquena, varia de 200 m a 250 m, como verifica do ao longo da serra do Pantanal (Corrêa et al. 1976). Predominam na Formação Furnas sedimentos arenosos de cores claras, com níveis conglomeráticos. A estratificação cruzada é abundante nessa formação. A base desta Formação inicia-se com um conglomerado de cor branco-amarelado, friável, cujos clastos, em geral de quartzo e com até 10 cm de diâmetro, acham-se imersos em matriz arenosa grosseira. Sua espessura pode chegar a até 30m (RADAMBRASIL, 1982).

Figura 13. Afloramento do arenito Furnas no médio curso do córrego Indaiá apresenta estratificação cruzada com coloração branca à cinza amarelado.



Fonte: Cunha (2015).

Figura 14. Afloramento do arenito Furnas no médio curso do córrego.



Fonte: Cunha (2015).

A Formação Aquidauana (Figuras 15 e 16), datada do período Carbonífero Superior, pertencente ao Grupo Tubarão. É composto de arenitos com granulometria variável de fina a grosseira, com ampla gama de cores, desde avermelhadas, cinza arroxeadas até esbranquiçadas. A formação está assentada sobre rochas Pré - Cambrianas representadas pelo Grupo Cuiabá e sequências rudimentares Paleozoicas dos Grupos Paraná (Formação Furnas e Formação Aquidauana), compostas por arenitos porosos e friáveis (RADAMBRASIL, 1982). Insere-se na transição entre os platôs resquiciais do Planalto Central e a Planície do Pantanal, sendo a maior parte de seus solos formada por arenitos e quartzitos. O relevo escarpado circunscreve platôs com

níveis acentuados de elevação posicionados a leste-noroeste do município de Aquidauana. Descrita como a porção superior do relevo denominado Grupo Arenito Aquidauana, é semelhante à formação Botucatu, porém originária de ambiente flúvio-lacustre apresentando aproximadamente 500 m de espessura (Schiavo et al. 2010).

Figura 15. Afloramento do arenito Aquidauana no alto curso do córrego Água Limpa, caracterizado pela sua coloração predominante rosa a vermelho tijolo.



Fonte: Cunha, 2015.

Figura 16. Afloramento do arenito Furnas no médio curso do córrego.



Fonte: Cunha, 2015.

São incluídos nesta unidade os depósitos aluvionares que atualmente estão sendo depositados nas margens e leitos dos rios e córregos (Figura 17) que drenam a área. Caracterizado pela presença de areia, silte, argila e cascalho. São constituídos por cascalhos grosseiros mal selecionados, com

seixos arredondados geralmente em um nível inferior, sobrepostos por bancos essencialmente arenosos de granulação grosseira a fina, contendo níveis siltosos (BRASIL, 1982). Estão situados na foz do córrego Indaiá com o rio Taboco, caracterizando parte da planície de inundação de ambos. A ocupação dessas áreas para exploração econômica como, por exemplo, extração de areia, procede de um estudo de fragilidade e impactos ambientais para tal.

Figura 17. Depósitos aluvionares na margem esquerda (médio curso) do córrego Indaiá.



Fonte: Cunha, 2015.

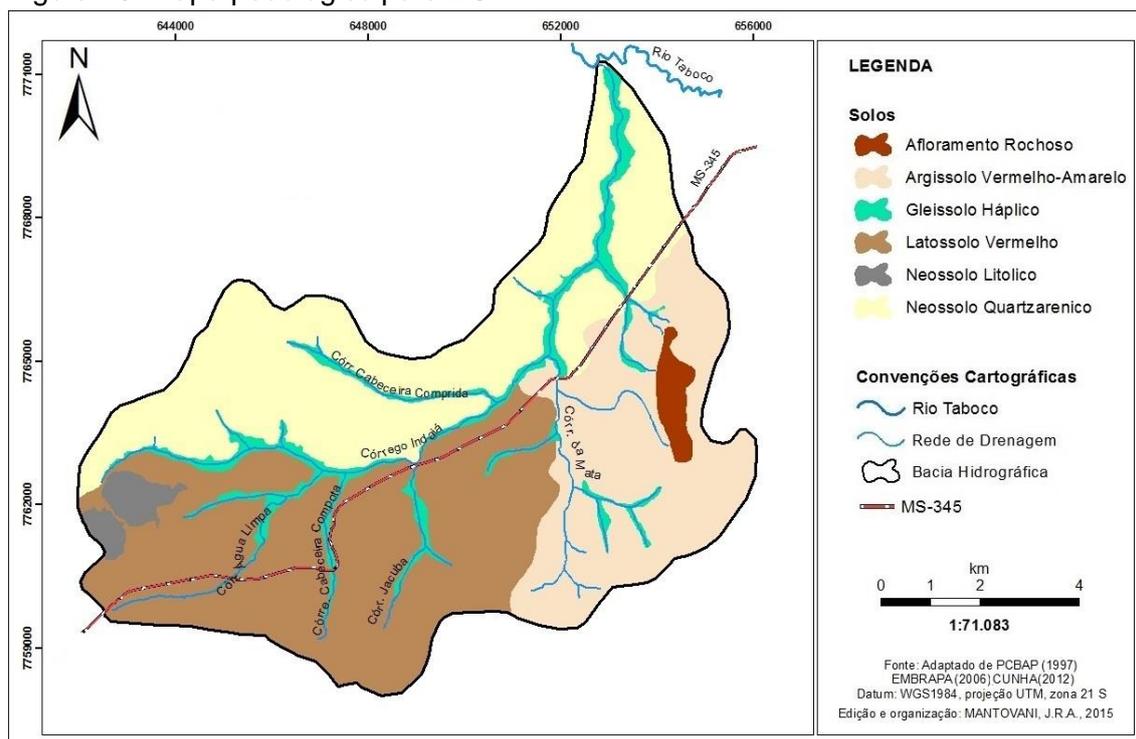
O estudo e análise dos solos também são importantes na pesquisa referente às áreas suscetíveis a inundação e alagamentos, principalmente na busca da identificação da espessura das camadas, que podem promover a saturação ou a retenção da água.

De acordo pelo Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai- PCBAP (BRASIL, 1997) e pela EMBRAPA (2006) somados com levantamentos em campo (Cunha et al. 2012, 2015), ocorrem na área de estudo quatro tipos de solos, Gleissolo Háplico Tb Distrófico, Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolos Litólico. A sigla Tb significa que o solo possui argila de atividade baixa (Figura 18).

Há o predomínio dos Latossolos Vermelhos de textura média, que são solos minerais, não hidromórficos, altamente intemperizados, profundos, bem drenados, sendo encontrados geralmente em regiões planas ou suave onduladas. Os Argissolos, solos minerais não hidromórficos, com horizonte B textural e argila de atividade baixa, o Neossolo Quartzarênico com baixa

fertilidade natural, pouco desenvolvidos, profundos e muito profundos, excessivamente drenados, mas com baixa capacidade de retenção de água, tornando esse solo desaconselhável à utilização agrícola. Os Gleissolos têm ocorrência ao longo de toda rede de drenagem do córrego Indaiá, incluindo seus tributários, são solos que apresentam horizonte superficial menos espesso, com cores mais claras e menores teores de matéria orgânica.

Figura 18. Mapa pedológico para BCI.



Fonte: Cunha 2015).

Os Gleissolos Háptico (Figuras 19 e 20) ocorrem em quase toda planície fluvial da BCI, São solos minerais, hidromórficos, apresentando horizontes A (mineral) ou H (orgânico), seguido de um horizonte de cor cinzento-olivácea, esverdeado ou azulado, chamado horizonte glei, resultado de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) em condições de encharcamento durante o ano todo ou parte dele. O horizonte glei pode começar a 40 cm da superfície.

São solos mal drenados favorecendo o escoamento superficial e também presença do lençol freático elevado. Apresentam sérias limitações ao uso agrícola, principalmente, em relação à deficiência de oxigênio (pelo excesso de água), à baixa fertilidade. Os ambientes onde se encontram esses solos devem

ser mantidos com o mínimo de interferência antrópica, uma vez que neles se concentram as reservas hídricas e mananciais além da presença vegetal, e serem suscetíveis a ocorrência de inundação e alagamento.

Figura 19. Solo permanentemente saturado por água.



Fonte: Cunha, 2015.

Figura 20. Solo permanentemente saturado por água.



Fonte: Cunha, 2015.

Os Neossolos Litólico (Figuras 21 e 22) compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos, situados nos morros e morrotes da bacia. São pouco desenvolvidos, não hidromórficos, normalmente pedregosos e/ou rochosos. Apresentam poucas alternativas de uso por se tratar de solos rasos ou muito rasos e usualmente rochosos e pedregosos, ocorrendo

geralmente em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso (RADAMBRASIL, 1982).

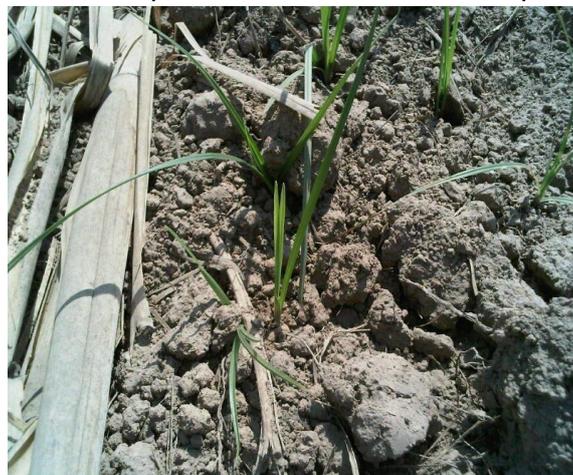
A pequena espessura do solo, com frequente ocorrência de cascalhos e fragmentos de rocha no seu perfil, proporciona grande susceptibilidade aos processos erosivos, além de potencialmente ocasionar elevado escoamento superficial em direção às planícies no qual a ocupação dessas áreas deva ser restrita ou anteceder de um estudo ambiental para seu uso, de modo a evitar problemas como erosão nas encostas, assoreamento dos rios nas planícies bem como aumento o aumento das enchentes e inundações fora dos períodos de cheia, e intensificar a ocorrência de áreas alagadas.

Figura 21. Neossolo Litólico.



Fonte: Cunha, 2015.

Figura 22. Solo permanentemente saturado por água.



Fonte: Cunha, 2015.

Os Neossolos Quartzarênicos (Figuras 23 e 24) ocorrem ao longo da borda norte da BCI, desde a nascente (oeste) até a foz com o rio Taboco (leste). Esta classe de solo ocorre em relevo plano ou suave ondulado, apresenta textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelado uniforme abaixo do horizonte A, que é ligeiramente escuro. Considerando-se o relevo de ocorrência, o processo erosivo não é alto, porém, deve-se precaver com a erosão devido à textura ser essencialmente arenosa (EMBRAPA, 2006). Embora seja considerado bem drenado, em razão principalmente do relevo que se encontra, apresenta suscetibilidade a inundações e alagamentos em razão do escoamento superficial tender a ser mais lento.

Outro fato limitante deste solo e sobretudo a seu uso, em razão dos teores de matéria orgânica, fósforo e micronutrientes serem baixos, a lixiviação de nitrato é intensa devido à textura essencialmente arenosa, no qual dificulta o processo de fixação do nitrogênio no solo, o que torna esse solo inadequado para desenvolvimento de atividades agrícolas (EMBRAPA, 2006).

Figura 23. Neossolo Quartzarênico.



Fonte: Cunha, 2015.

Figura 24. Solo permanentemente saturado por água.



Fonte: Cunha, 2015.

Os Latossolos Vermelhos (Figuras 25 e 26) ocorrem ao longo de alguns tributários da rede de drenagem ambos limitados com a planície fluvial, situado na borda sul do oeste da BCI, predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado. Apresentam cores vermelhas acentuadas, devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. Por serem profundos e porosos ou muito porosos, apresentam condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade propiciando o desenvolvimento de atividades, desde que realizada com o devido manejo (EMBRAPA, 2006).

Figura 25. Amostra de Latossolo Vermelho-Amarelo.



Fonte: Cunha, 2015.

Figura 26. Solo permanentemente saturado por água.



Fonte: Cunha, 2015.

Os Argissolos Vermelhos-amarelos (Figuras 27 e 28) ocorrem na borda leste da BCI logo do córrego da mata e seus afluentes e São solos medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados, com horizonte B textural (horizonte diagnóstico que caracteriza a classe de solo), de cores vermelhas a amarelas e textura argilosa, abaixo de um horizonte A ou E de cores mais claras e textura arenosa ou média, com baixos teores de matéria orgânica. Desenvolvem-se a partir de diversos materiais de origem, em áreas de relevo plano a montanhoso.

A maioria dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, com ou sem decréscimo, do horizonte B (horizonte de máxima iluviação ou de máxima expressão das características do horizonte B) para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e B é, usualmente clara, abrupta ou gradual. Quando localizados em áreas de relevo plano e suave ondulado, estes solos podem ser usados para diversas culturas, desde que sejam feitas correções da acidez e adubação, principalmente quando se tratar de solos distróficos ou álicos. Em face da grande suscetibilidade à erosão, mesmo em relevo suave ondulado, práticas de conservação e manejo de solos são recomendáveis (EMBRAPA, 2006).

Figura 27. Argissolos avermelhados em área de pastagem.



Fonte: Cunha, 2015.

Figura 28. Solo permanentemente saturado por água.



Fonte: Cunha, 2015.

O clima é formado pela dinâmica dos sistemas atmosféricos com seus respectivos tipos de tempo. No Estado do Mato Grosso do Sul, o relevo, a altitude, a continentalidade são os fatores que apresentam maior interação com os sistemas atmosféricos tornando-os estáveis ou instáveis, e a influência desses fatores determinam as variações climáticas locais (MONTEIRO e MENDONÇA, 2005).

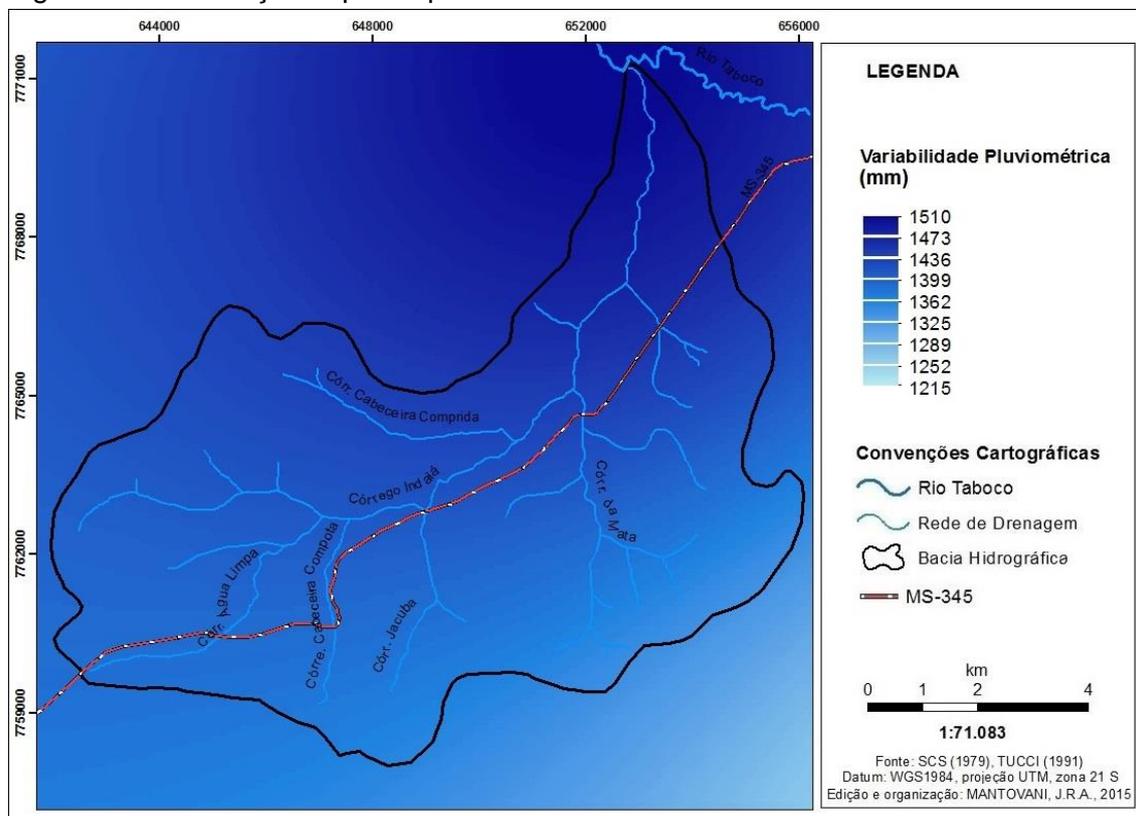
A noroeste do município, a variação mesoclimática do clima regional é o sub-úmido, apresentando índices efetivos de umidade com valores anuais variando de 0 a 20%. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1.300 a 1.500mm, excedente hídrico anual de 400 a 800mm durante três a quatro meses e deficiência hídrica de 500 a 650mm durante cinco meses. A temperatura

médica anual é em torno de 24°C. Sendo que, no extremo sudoeste do município é de 23°C. As temperaturas do mês mais frio estão entre 15°C e 20°C; o período seco é de três a quatro meses, estando a precipitação anual entre 1.200 e 1.500mm (MS, 1990).

A precipitação média anual é de aproximadamente 1350 mm (SANT'ANNA NETTO, 1993) e a temperatura média anual é em torno de 25°C, ao passo que a média mensal do mês mais quente (janeiro) alcança 27,5°C e a dos meses mais frio (junho) chega a 22,5°C. Entretanto, são comuns na região temperaturas superiores a 40°C nos meses de verão e nos meses de inverno, temperaturas mínimas inferiores a 5°C (PINTO, 1998).

O mapa da Variabilidade Espacial Pluviométrica (Figura 29) apresentou pequena variação dos índices pluviométricos, caracterizada por uma maior distribuição de períodos chuvosos, entre setembro a maio (9 meses). As chuvas mais intensas concentram-se entre os meses de novembro e janeiro. O inverno (junho a agosto) caracteriza-se como período de estiagem, cujos índices pluviométricos são muito baixos (Cunha et al. 2012).

Figura 29. Distribuição espacial pluviométrica anual.

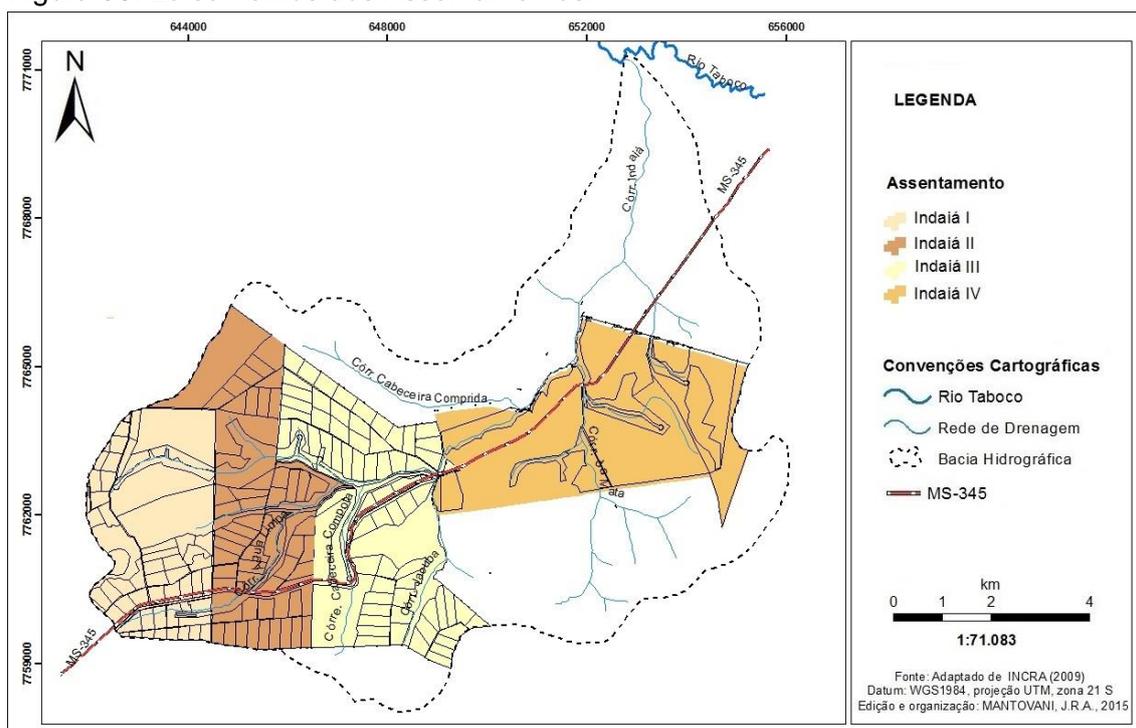


Fonte: Cunha et al. 2012.

4.1.3 O quadro socioeconômico

A caracterização socioeconômica da BCI foi em função da instalação do complexo de assentamento rural do município de Aquidauana-MS, em 15 de dezembro de 2009, pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) com o lançamento simultâneo de quatro projetos da reforma agrária em Aquidauana (MS). Ao todo, 250 famílias são beneficiadas pelo complexo de 6,4 mil hectares formado pelos assentamentos Indaiá I, II, III e IV (Figura 30). Tomando como base a média de quatro integrantes por família, o complexo Indaiá representa a fixação de mais de mil pessoas no espaço rural de Aquidauana.

Figura 30. Loteamentos dos Assentamentos.



Fonte: INCRA, 2009.

Cada família assentada recebeu em três parcelas de R\$ 3.200,00 o total de R\$ 9.600 em recursos para o fomento da produção, R\$ 15 mil para construção de casas e mais R\$ 21 mil para compra de gado, sementes, gradeação da área e cercamento, através do PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PREFEITURA MUNICIPAL DE AQUIDAUANA, 2011).

Embora em 2010 o governo federal e municipal tenha firmado um convênio com valor superior a R\$ 1.200 milhão, para implantação e recuperação de 79,77 km de estradas vicinais nos projetos Indaiá I, II, III e IV, até o presente apenas a metade dos recursos foram investidos. Os assentados sofrem ainda problemas relacionados ao abastecimento de água, que se dá por meio de um caminhão pipa com água retirada do próprio córrego, sem nenhum tratamento, o que tem gerado problemas de saúde, principalmente a crianças e idosos (AQUIDANOTICIAS, 2011).

Segundo o INCRA (2009) a previsão de investimento imediato nos assentamentos passa dos R\$ 5,4 milhões. Cada família assentada receberá o crédito apoio inicial, no valor R\$ 3,2 mil, que será destinado à aquisição de insumos para produção agrícola e implantação do sistema de abastecimento de água. Além deste, serão destinados mais de R\$ 15 mil para construção das moradias. Logo após a construção das casas, será liberado o crédito Fomento, composto por duas parcelas de R\$ de 3,2 mil (INCRA, 2009). Todavia, segundo “os assentados o único repasse até o momento que o INCRA destinou a eles foi de R\$ 800,00 para compra de alimentos, ainda, relataram que a maior ajuda vem da Prefeitura Municipal de Aquidauana, que disponibiliza maquinário para gradeação da terra” (informação verbal). Segundo o Aquidanoticias (2012) no dia 24 de março de 2012 os assentamentos Indaiá I, II, III e IV foram contemplados com a entrega de 15 quilos de sementes de feijão para cada uma das 250 famílias e meio hectare de terra gradeada.

A bacia vem passando por programas de recuperação ambiental também, com atuação conjunta entre a Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural (AGRAER) e a prefeitura municipal de Aquidauana por meio da Gerência Municipal de desenvolvimento agrário e meio ambiente, contando ainda com a participação do Instituto Ekko Brasil - Projeto Lontra, além da presença de estagiários dos cursos de Engenharia Florestal e Agronomia da UEMS (Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul), estão contribuindo com o reflorestamento dos principais mananciais (Figura 31).

Figura 31. Reflorestamento das proximidades da nascente do córrego Indaiá.



Fonte: AGEKOM /Gerência de Desenvolvimento Agrário e Meio Ambiente.

Cada participante contribuiu com apoio técnico especializado e nos trabalhos de mobilização da comunidade de assentados que ainda são responsáveis pelo manejo das mudas (AQUIDANOTICIAS, 2013). Além das ações de recuperação, tem um projeto de estruturação de um viveiro com mudas nativas, visando à recuperação da vegetação nativa e controle de processos erosivos.

4.2 Materiais e Métodos

A metodologia definida para o estudo proposto compreendeu a avaliação de elementos do meio físico-natural, incluindo aspectos geomorfológicos, características edafoclimáticas e hidrológicas, integrados aos elementos socioeconômicos relacionadas à ocupação do solo na BCI, de modo que o mapeamento das áreas suscetíveis incluam também as áreas não ocupadas, pois a tendência é um intenso incremento da ocupação e exploração da bacia do Indaiá e a perspectiva deve ser sempre preventiva para minimizar possíveis impactos negativos no ambiente.

Os procedimentos metodológicos se desenvolveram através do uso de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e cartografia digital, apoiados em técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento e análise das informações geográficas, tendo a bacia hidrográfica como objeto de estudo.

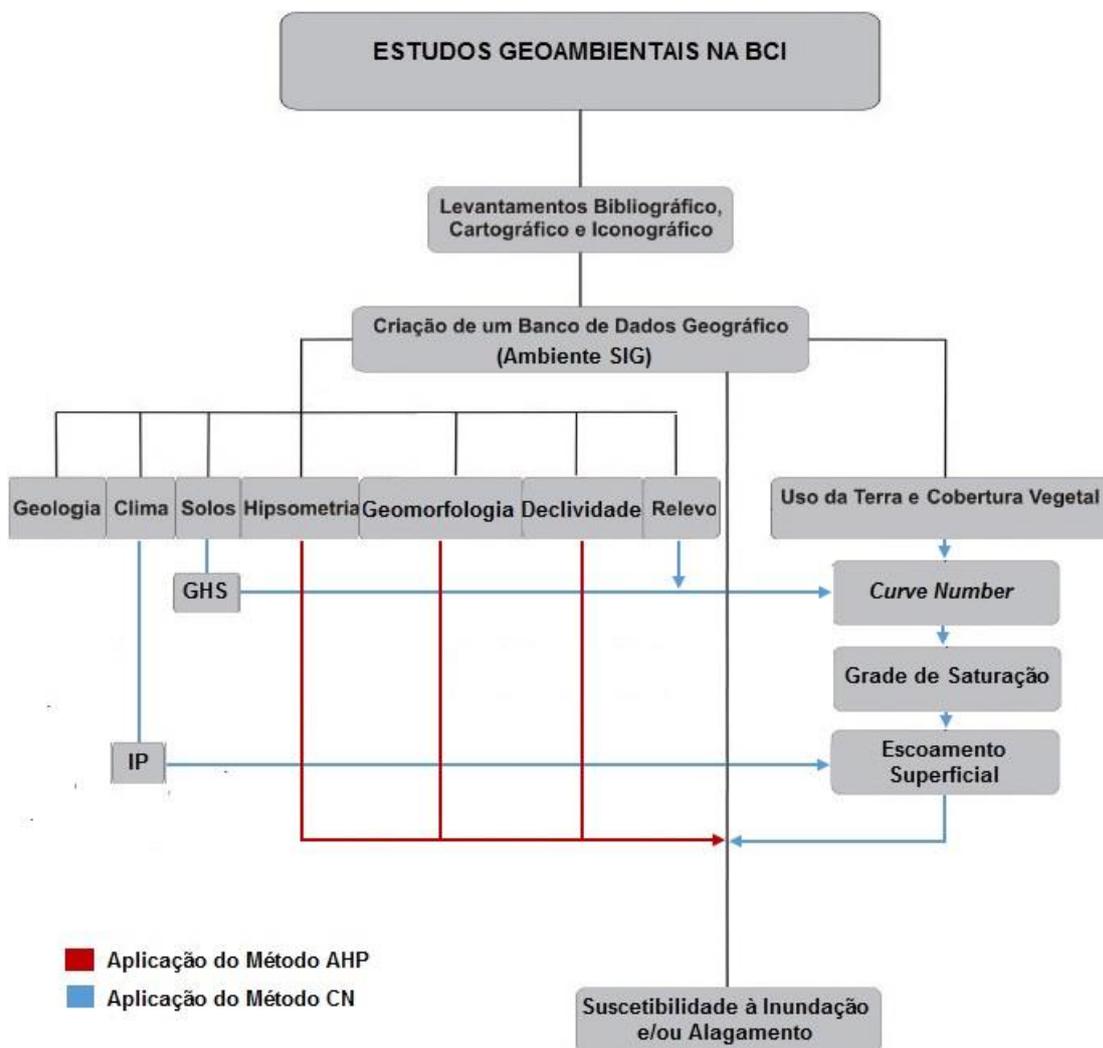
Através do uso do sistema de informação geográfica (SIG) foi possível aplicar o modelo hidrológico *Curve Number* (CN) e o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), obtendo subsídios para compreender o ambiente de forma integrada, unindo as características físicas e geográficas aos processos sociais e econômicos atuantes na transformação espacial e na produção do território da BCI.

Foram utilizadas imagens orbitais de satélite e fotografias aéreas para reformulação das informações de geologia e pedologia, como para restituição da geomorfologia e dos sistemas ambientais. Para obtenção de dados de hipsometria e clinografia do relevo, também se utilizou imagens provenientes de radar. A partir de técnicas de processamento digital de imagem (PDI) identificou-se o uso e a cobertura da terra, por meio de imagens de alta resolução espacial.

Somados a todo trabalho de análise e processamento de dados desenvolvidos na maior parte do tempo no ambiente computacional, também foram realizadas pesquisas bibliográficas referentes a área de estudo, bem como dados existentes e mapas temáticos. Dessa maneira, os instrumentos computacionais do geoprocessamento permitiram a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes, através de um banco de dados georreferenciados. Por fim, foi feita a validação do modelo, através de perfis topográficos e modelos tridimensionais para verificar a qualidade dos resultados.

Os procedimentos metodológicos se desenvolveram de acordo com a realização das etapas descritas do fluxograma da Figura 32.

Figura 32. Fluxograma metodológico dos procedimentos metodológicos.



4.2.1 Dados Utilizados

As informações bases se consistiram no levantamento cartográfico obtido através da carta topográfica no formato digital, referente ao município de Aquidauana, folha SF. 21-X-A III, na escala de 1:100.000, elaborada pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), segunda reimpressão (1999), fornecida gratuitamente pelo Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) do Campus de Aquidauana/UFMS, para auxílio na delimitação da bacia e digitalização das bases cartográficas, como rios, estradas entres outras. Além desses, foram

utilizados dados cartográficos do levantamento topográfico realizado em 15 de dezembro de 2009, pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), referente a delimitação, dado em lotes, do complexo de 6,4 mil hectares formado pelos assentamentos Indaiá I, II, III e IV.

As informações pluviométricas foram extraídas do mapa da variabilidade espacial pluviométrica (Figura 21), produzido por Cunha et al. (2012) com base em dados pluviométricos de 4 estações meteorológicas, obtidos no sítio da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). As estações meteorológicas, três estão localizadas no município de Aquidauana, no distrito de Cipolândia (S 20°07'37", W 55°23'34"), fazenda Taboco (S 20°04'13", W 55°38'39") e fazenda Rancho Grande (20° 09' 46", 55 32' 48"W) a outra no município de Dois Irmãos do Buriti, na fazenda Lajeado (S 20°17'29" W 55°26'41").

Foram utilizados dados de altimetria do Radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 m (Banda X), em formato digital (GeoTIFF) disponível gratuitamente, extraído do banco de dados do Serviço Geológico do Estados Unidos (USGS).

Foi utilizado o mapeamento de uso e cobertura da terra produzido por Cunha et al. (2012), no qual foram utilizadas imagens de alta resolução espacial, provenientes do satélite *GeoEye*, disponibilizada pelo banco de dados do ArcGIS10® *online* (ESRI, 2012). Também foram extraídos dos mapas temáticos do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1982), as bases cartográficas de geologia, geomorfologia e pedologia na escala de 1:1.000.000. Os mesmos temas foram comprados e analisados minuciosamente com as informações do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (BRASIL, 1997), na escala de 1:250.000 e EMBRAPA (2006), na escala de 1:100.000, os quais, somados a observações e levantamentos realizados em campo por Cunha (2012, 2014), foram fundamentais para caracterizaram e entendimento do meio físico, principalmente para refinar a escala em maior nível de detalhamento.

Todo o conjunto de informações e dados foram organizados em um banco de dados geográficos, para tratamento, conversão, processamento e análise dos resultados, implementados em um sistema de informação geográfica, no *software* ArcGIS 10®.

4.2.2 Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra

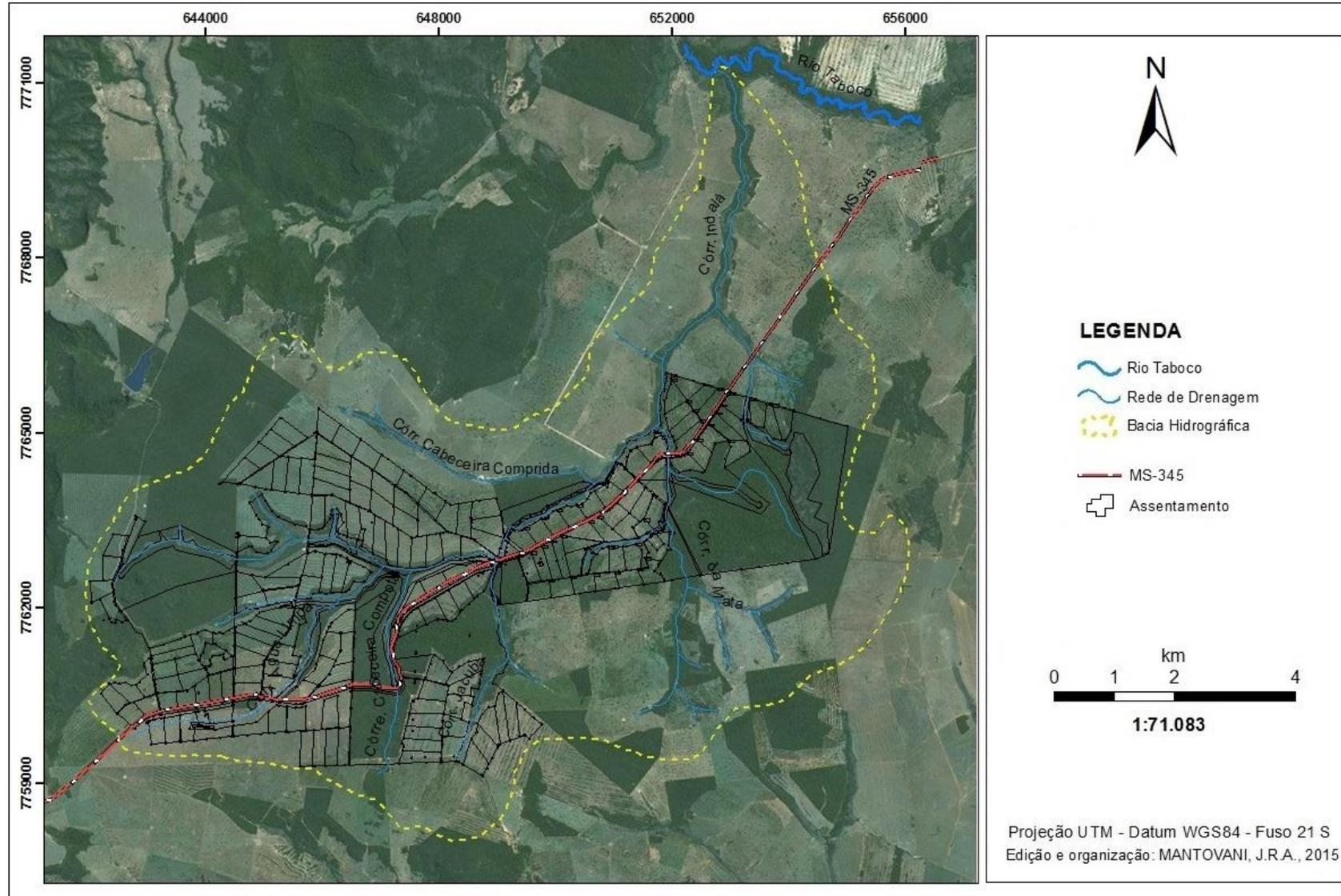
Para caracterização do uso e cobertura da terra foi utilizado o material cartográfico produzido por Cunha et al. (2012), referente ao mapeamento detalhado da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, MS, na escala de 1:3.500 e publicado na escala 1:55.000, onde realizou-se apenas adaptações visando adequar as classes mapeadas pelo mesmo autor do mapa em relação a metodologia de aplicação do modelo hidrológico *Curve Number*, para obter a modelagem do escoamento superficial espacialmente distribuído.

Assim, o mapeamento foi elaborado com base nos procedimentos metodológicos descritos por Jensen (2009), Novo (2010), Moreira (2011) apud Cunha et al. (2012), que utilizam como base imagens de alta resolução e técnicas de interpretação visual de imagens, através de parâmetros como: Tonalidade/cor, tamanho, forma, sombra, textura, padrão e localização (Luchiari et al. 2005), que posteriormente subsidiaram a análise, interpretação e classificação das unidades de uso e cobertura da terra.

De acordo com Cunha et al. (2012), o procedimento se iniciou com a captura de um conjunto de 119 cenas, provenientes do satélite *GeoEye*, com resolução espacial de 0,63 cm, datadas de agosto de 2012, obtidas através do ArcGIS 10®, versão *online*. Seguindo, o tratamento das imagens se procedeu com a realização de um mosaico das cenas no *software Global Mapper 14* (Sul Soft, 2014) e projeção para o sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), fuso 21°, ao sul, Datum WGS84, de acordo com as orientações geodésicas da região da BCI exportado em formato digital (GeoTIFF).

Por fim, foi gerada uma carta imagem, com contraste colorido, contendo as informações da rede de drenagem, rios principais, da rede viária, estações meteorológicas e a delimitação da bacia hidrográfica sobrepostas na imagem (Figura 33).

Figura 33. Carta Imagem da área de estudo.



Fonte: GeoEye, ArcGIS 10 online.

Para auxiliar no mapeamento foi elaborada uma chave de interpretação, através daquelas caracterizadas por Cunha et al. (2012) no processo de extração de informação de imagens orbitais, que posteriormente subsidiaram a análise, interpretação e classificação das unidades de uso da terra e cobertura vegetal conforme as classes mapeadas (Figura 34).

Figura 34. Chave de Interpretação referente ao mapa de uso e cobertura da terra.

Uso e cobertura da terra	Imagem do satélite <i>GeoEye</i> (2012)
Cerrado	
Mata Ciliar	
Mata Galeria	
Cerrado sentido restrito	
Floresta estacional semidecidual	
Floresta estacional decidual	
Veredas	
Campos gramíneos úmidos	

Vegetação Secundária



Pastagem com Terraço



Pasto Sujo (degradado)



Solo Exposto (estradas)



Solo Exposto (agricultura)



Agricultura Subsistência



Silviculturas



Chácaras, área construída



Processos erosivos



Áreas Queimadas



Fonte: Cunha et al., (2012), Editado.

Durante o mapeamento de uso e cobertura da terra, é importante que cada alvo identificado seja vetorizado individualmente, respeitando as relações topológicas entre as diferentes entidades temáticas.

Foram mapeadas no total 19 classes temáticas, que posteriormente foram aferidas com trabalhos de campo, através do registro fotográfico e observações dos diferentes elementos identificados na imagem (CUNHA et al. 2012).

A vetorização manual para classificação de imagens orbitais, com destaque para as imagens provenientes de sensores de média e alta resolução espacial, possibilita a extração das informações com melhor acurácia do que se comparado com métodos automáticos e semiautomáticos, minimizando possíveis erros dos classificadores.

4.2.3 Digitalização dos mapas Temáticos

Os mapas temáticos de geologia, geomorfologia e pedologia referentes aos Projetos RADAMBRASIL (BRASIL, 1982), Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP (BRASIL, 1997) e EMBRAPA (2006), foram convertidos em formato digital por meio de um scanner de mesa e, em seguida, procedeu-se com a vetorização das classes temáticas em ambiente SIG que, posteriormente foram reeditados conforme o levantamento de algumas informações coletadas durante atividades desenvolvidas em campo.

As informações do mapa pedológico apoiaram inicialmente nas informações desses projetos. Posteriormente, visando aumentar o grau de detalhamento do meio físico e conseqüentemente a resolução espacial, por meio de técnicas de fotointerpretação de imagens ópticas dos satélites Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), *GeoEye* e fotografias aéreas da USAF (*United States Air Force*, 1966), somadas com observações e saídas de campo realizados, foi possível aumentar o grau de detalhamento para escala da bacia.

O mapeamento geomorfológico foi elaborado por Cunha et al. (2012, 2014) a partir de procedimentos técnicos científicos descritos por Ross (1992), Florenzano (2008), Novo (2008) e manual técnico de geomorfologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009). A elaboração se apoiou em produtos cartográficos intermediários derivados de análises fisiográficas, tendo

como base também imagens orbitais de satélites e características morfométricas obtidas dos dados do radar interferométrico SRTM.

Toda elaboração da cartografia digital teve como ambiente de trabalho o *software* ArcGIS 10® (ESRI, 2012), os mapas gerados se constituíram nas bases de produção para os mapas de síntese cartográfica propostos nessa pesquisa, tendo como destaque os mapas de escoamento superficial e suscetibilidade à inundação e/ou alagamento.

4.2.4 Espacialização da Intensidade Pluviométrica

Para obter-se um parâmetro confiável referente ao comportamento pluviométrico da BCI para simulação dos dados, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) indica uma escala temporal de um período de 30 anos.

Assim para determinação de um padrão climático da distribuição pluviométrica que correspondesse o período de chuva mais intenso para região da bacia do indaiá, foi adotada a proposta teórica de Crepani et al. (2001), baseado no cálculo da intensidade pluviométrica, no qual se apoiou no mapa da variabilidade espacial pluviométrica, elaborado por Cunha et al. (2012). O mapa da variabilidade espacial pluviométrica (Figura 28) corresponde as médias anuais de pluviosidade, para um período entre 1970 e 2007, caracterizado pela distribuição de períodos chuvosos, entre setembro a maio (9 meses).

O cálculo da intensidade pluviométrica (IP) é obtido através da relação entre a precipitação média anual (PMA) e duração do período chuvoso (DPC), definido através da equação 6 (CREPANI et al. 2001).

Equação 6. Intensidade Pluviométrica.

$$IP = \frac{PMA}{DPC}$$

A Tabela 5, apresenta os dados utilizados para cálculo e obtidos para a espacialização da Intensidade Pluviométrica.

Tabela 5. Cálculo da Intensidade Pluviométrica.

Estações	PMA	DPC	IP
Cipolândia	1267,1	9	140,7
Fazenda Taboco	1381,1	9	154
Fazenda Rancho Grande	1510,4	9	167,8
Fazenda Lajeado	1215,2	9	135

Fonte: Cunha et al. 2013.

Para representação cartográfica da espacialização das intensidades pluviométricas obtidas, empregou-se o método de interpolação, denominado Inverso do Quadrado da Distância (IQD) ou *The Inverse Distance Weighted* (IDW), disponível em ArcGIS 10® (Cunha et al. 2013). Segundo Bacani (2010), o método Inverso do Quadrado a Distância (IQD) é baseado em um algoritmo determinístico uni variado de médias ponderadas. A interpolação pelo IQD supõe visivelmente que as feições mais próximas são mais semelhantes do que as mais separadas.

O mapa da intensidade pluviométrica foi utilizado para simular o escoamento superficial espacialmente distribuído na BCI, através do modelo hidrológico *curve Number* (CN), assim nesta pesquisa, considerou-se a precipitação efetiva (que ocasionou o escoamento) através do mapa da intensidade pluviométrica, derivados da equação 2.

4.2.5 Modelagem Digital de Terreno

A modelagem numérica do terreno foi feita com base em imagens de radar, referente ao sensor SRTM com resolução espacial de 30 metros (banda X). Foram gerados mapas de declividade, hipsométrico (elevação), parâmetros hidrológicos e modelos tridimensionais, ambos produtos com base nos modelos da Grade Regular Retangular (MGRR), segundo os procedimentos descritos por Câmara et al. (2007) apud Bacani (2010).

Para a confecção do mapa hipsométrico (elevação), deve-se estabelecer primeiramente as classes de altimetria adequadas à área a ser mapeada. O critério estabelecido para determinação dos intervalos altimétricos, foi elaborado

com base no procedimento metodológico descrito por Bacani (2010), que se constituiu na elaboração de um perfil topográfico (longitudinal) do ponto mais elevado ao mais baixo da bacia em relação ao nível no mar. Segundo o autor, com base nesse procedimento, é possível identificar a transição entre os principais compartimentos altimétricos. Pode auxiliar também na identificação e mapeamento de compartimentos geomorfológicos, além de melhor analisar o papel da energia potencial do relevo na suscetibilidade da inundação do alagamento.

Assim, com base no perfil transversal, identificou-se as principais mudanças nos níveis de base da bacia, onde foram estabelecidas as seguintes classes hipsométricas: 159m - 201m, 202 - 235m, 236 - 268m, 267 - 298m, 299 - 329m, 330 - 366m, 367 - 427m, 428 - 544m. Para representação do mapa, foi utilizado um recurso visual sob o relevo sombreado (*Shaded Relief*) e o algoritmo que suaviza a visualização das feições do relevo (*Nearest Neighbor*), ambas funções disponíveis no próprio ArcGIS10®.

O mapa de declividade tem o objetivo de demonstrar as inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal. Serve como fonte de informações das formas do relevo, das aptidões agrícolas, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana, direção do escoamento superficial entre outras. O mapa de declividade, foi gerado com base no modelo da Grade Irregular Triangular, segundo os intervalos estabelecidos pela EMBRAPA (2005), sendo: 0 - 3%, 3 - 8%; 8% - 20%, 20% - 45%; 45% - 75%, <75%.

Os produtos cartográficos gerados que utilizaram o MDT descreveram aspectos importantes no que referiu ao comportamento do meio físico, foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, para modelagem do comportamento do escoamento superficial distribuído, bem como a utilização de modelos tridimensionais para visualização dos resultados de maneira a representar o terreno e propiciar mais recursos para analisar os resultados gerados.

O Mapa de declividade bem como o hipsométrico constituem-se também num dos principais elementos de amparo à elaboração do mapa de susceptibilidade a inundação e/ou alagamentos. As diferentes inclinações do relevo podem apresentar uma forte relação com as formas de ocupação do espaço (BACANI, 2010), sobretudo, na distribuição das características geoambientais que compõe e formam a paisagem que abrange a área da BCI.

4.2.6 Caracterização dos Grupos Hidrológicos de Solos

Para aplicação do modelo hidrológico *Curve Number* e obtenção do parâmetro CN foi necessário obter um mapa de Grupo Hidrológico de Solo (GHS) por meio da classificação dos solos presentes na bacia. Essa classificação se fundamenta na capacidade de infiltração e produção de escoamento superficial dos tipos de solos.

Os critérios gerais propostos para os grupos hidrológicos e as particularidades de cada ordem de solo presente na bacia, foi definido de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006), baseado classificação de solos tropicais brasileiros proposta por Sartori e Genovez (2011) apresentados na Tabela 1. Os grupos hidrológicos de solos são divididos hierarquicamente em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com o potencial de gerar escoamento superficial, sendo A o grupo de menor potencial e maior infiltração e o D de maior potencial e menor infiltração (SCS, 1991).

A elaboração do mapa de GHS se desenvolveu em quatro etapas. A primeira consistiu em fazer a edição vetorial do mapa de solos e redefinição de parâmetros de análise na tabela de atributos "*Editor/Attributes Table*". O segundo passo consistiu em converter o arquivo de formato vetorial (shp) para matricial ou *raster* (Grid) "*Conversion/To Raster*", para posteriormente reclassificar, por meio da ferramenta "*Spatial Analyst/Reclassify*". A Tabela 6 discrimina os tipos de solos associados aos grupos hidrológicos de acordo com as orientações teóricas metodológicas do CN.

Tabela 6. Tipos de solos associados a classificação hidrológica de solos (GHS).

Tipos de Solos	GHS
Afloramento Rochosos	D
Argissolos vermelho amarelos	C
Gleissolos Háptico	D
Latossolos vermelhos	B
Neossolos Litólico	D
Neossolos Quartzarênicos	A

Este mapa, combinado com o mapa de uso atual da terra, se consistem em umas das bases durante a modelagem do escoamento superficial, caracterizando a relação entre tipo de solo e uso e cobertura no que se refere ao padrão do escoamento superficial, utilizado para modelagem da suscetibilidade à inundação e/ou alagamento.

4.2.7 Modelagem do Escoamento Superficial Distribuído

Neste método, os grupos hidrológicos de solos são combinados com o uso e cobertura da terra predominante na área, gerando um valor de deflúvio diferencial de acordo com os tipos de superfície. Na literatura adotada, há duas tabelas que apresentam estes parâmetros do *Curve Number* (CN), tanto para bacias localizadas em área urbana, quanto para bacias localizadas em áreas rurais (TUCCI, 1997). Como neste caso, a BCI encontra-se na área rural do município de Aquidauana, foi adotada a classificação de CN para o ambiente rural (Tabela 2).

O software utilizado para processamento e análise foi o ArcGIS10® (ESRI, 2012), com auxílio da plataforma HEC-GeoHMS (*Geospatial Hydrologic Modeling Extension*). O HEC-GeoHMS é um conjunto de ferramentas desenvolvidas para trabalhar no próprio ArcGIS, especialmente para o processamento de dados geoespaciais, pelo HEC (*Hydrologic Engineering Center*), elaborada pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, para uso hidrológico (*United Army Corps of Enginners, 2002; 2008*). Os procedimentos técnicos-operacionais aplicados nesta etapa, se baseiam no trabalho realizado por Mantovani et al. (2013), no qual se fundamenta teoricamente no modelo hidrológico *Curve Number* (SCS, 1972), apoiado nas informações de uso e cobertura da terra, grupo hidrológico de solo e relevo implementados dentro do ambiente SIG, através da plataforma HEC-GeoHMS.

A modelagem do escoamento superficial espacialmente distribuído seguiu dos procedimentos teóricos propostos por Tucci (1993), simulado para um dado comportamento pluviométrico, neste caso, foi utilizado o mapa de intensidade pluviométrica.

Os parâmetros de entrada do modelo consistem nas características hidrológicas de solos (GHS) combinado com o mapa de uso e cobertura da terra, através da ferramenta “*Union*”, somados ao modelo digital de terreno e uma tabela com os valores de CN para bacias rurais, associadas às classes de uso e cobertura da terra mapeadas. Os valores de CN discriminados em relação ao mapeamento de uso e cobertura da terra, assim como a distribuição dos grupos hidrológicos de solos encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Tabela com valores de CN para bacias rurais.

Uso e cobertura da terra	Classificação do CN	GHS			
		A	B	C	D
Cerradão	Floresta densas, alta transpiração	25	52	62	69
Mata ciliar	Floresta normal	36	60	70	76
Mata galeria	Floresta densas, alta transpiração	25	52	62	69
Cerrado sentido restrito	Floresta esparsa	46	68	78	84
Floresta estacional semidecidual	Floresta densas, alta transpiração	61	75	83	87
Floresta estacional decidual	Floresta esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
Veredas	Floresta densas, alta transpiração	26	52	62	69
Campos gramíneos úmidos	Campos densos, de alta transpiração	25	55	70	77
Vegetação secundária	Floresta esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
Pastagem com terraço	Pastagens normais, curvas de nível	25	59	75	83
Pasto sujo (degradado)	Pastagens pobres, curvas de nível	47	67	81	88
Solo exposto (estradas)	Chácara estradas de terra más	72	82	87	89
Solo exposto (agricultura)	Solo lavrado em fileiras retas	70	80	87	90
Agricultura de subsistência	Plantação de Legumes ou cultivados	68	79	86	89
Silvicultura	Floresta esparsa	46	68	78	84
Chácara, estradas de terra	Chácara e estradas normais	56	75	86	91
Processos erosivos	Solo lavrado em fileiras retas	70	80	87	90
Área queimada	Solo lavrado em fileiras retas	70	80	87	90
Corpos D'água	Superfícies Líquidas	100	100	100	100

A modelagem do escoamento superficial se procedeu por meio da técnica de álgebra de mapas, através da ferramenta “*Spatial Analyst/Raster Calculator*”, no qual, por meio da grade de CN, foi obtido a grade de Saturação (S) através da equação 3. Posteriormente foi simulado o escoamento superficial (Q), utilizando a variável “P” (precipitação) como entrada a partir do mapa de Intensidade Pluviométrica (IP), através da equação 2, de modo a obter um parâmetro geral da distribuição pluviométrica ao longo da área da bacia toda,

para o período chuvoso da região, definidos com base na caracterização climática, descritas no quadro natural da área de estudo.

4.2.8 Cartografia da suscetibilidade à inundação e/ou alagamento

Um dos instrumentos de análise mais eficientes para prevenção e a redução de desastres é o mapeamento de áreas de risco. A análise do risco envolve a identificação de processos socioeconômicos e processos físicos (perigo) existentes em uma área ou região específica (TANIA, 2015).

Nessa perspectiva, o mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento foi elaborado tendo como referência os trabalhos realizados por Rosa et al. (2008), Santos et al. (2010), Pilger (2011) e Grassi et al. (2013), que utilizaram como procedimentos técnicos a combinação de mapas temáticos para obtenção de um mapa síntese, implementados através de um sistema de informação geográfica (SIG), por meio do método da comparação pareada AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

O mapa das áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento teve como base a combinação de cinco mapas temáticos: pedologia, altitude, geomorfologia, declividade e escoamento superficial (Q).

Essa etapa foi desenvolvida em duas fases de trabalho. Uma fase teórica, em que, primeiramente foram definidos quais mapas temáticos seriam utilizados no modelo, prosseguindo com uma reclassificação dos atributos temáticos de cada mapa, baseada numa escala crescente de valores (adimensionais) que variam de notas de 1 (menos suscetível) a 10 (mais suscetível) para cada atributo físico contido nos mapas temáticos, indicando assim a suscetibilidade desse ambiente pelo viés hidrológico. Essa ponderação foi feita a partir da análise integrada, associando os aspectos físicos naturais aos processos socioeconômicos (baseados no mapa de uso e cobertura da terra) que integralmente formam parte desse sistema ambiental, para representar as condições geoambientais reais no mapeamento das áreas suscetíveis as inundações e/ou alagamentos para BCI.

A segunda fase, operacional, se consistiu na aplicação do método AHP, para elaboração do produto cartográfico proposto na pesquisa. Os fatores

atribuídos e as classes referentes aos mesmos foram hierarquizados conforme sua importância sobre o desenvolvimento e suscetibilidade do processo analisado e comparados entre si em uma matriz, atribuindo-se um valor de importância relativa (peso) ao relacionamento dessas variáveis temáticas.

Posteriormente, a matriz de comparação pareada foi normalizada, dividindo cada elemento da matriz pela somatória dos elementos da coluna a que a variável pertence. Por fim, foram obtidos os pesos de cada variável calculando a média aritmética de cada linha da matriz a qual ele se refere. Conforme a proposta de Saaty (1971, 1991), a última etapa do processo consistiu na avaliação da consistência dos pesos obtidos dada pela equação 5.

4.2.8.1 Fase Teórica: Reclassificação dos atributos temáticos

A seguir serão discutidos os critérios adotados para a distribuição das notas atribuídas individualmente a cada atributo contido nos mapas utilizados no modelo:

A) Mapa de elevação (altitude):

O estudo das características altimétricas permeia a tomada de decisão para determinação de áreas frágeis à ocupação ou potencialmente viáveis, forneceu importantes subsídios para determinação do modelo de suscetibilidade à inundação e/ou alagamentos para BCI. Assim, inferiu-se que quanto mais elevado o terreno, menor a suscetibilidade de inundações e alagamentos, por ser uma área com maior potencial de gerar escoamento superficial, contudo, menos capacidade de retenção de água. As áreas menos elevadas acompanham a rede de drenagem e sobretudo a planície de inundação, sendo áreas potencialmente receptoras do escoamento superficial.

Desse modo, as notas mais altas foram atribuídas as menores altitudes, e as mais baixas as altitudes mais elevadas, pois a suscetibilidade diminui proporcionalmente com o aumento da altitude (Tabela 8).

Tabela 8. Reclassificação do mapa de Altitude.

Altitude (m)	Nota
159 – 201m	10
202 – 235m	7
236 – 268m	5
267 – 298m	4
299 – 329m	3
330 – 366m	2
367 – 427m	1
428 – 544m	1

B) Mapa de Solos:

Do ponto de vista hidrológico, os solos encontrados na bacia, apresentam uma alta capacidade de drenagem do escoamento superficial e do nível de saturação e infiltração das águas superficiais, devido à concentração elevada de areia na composição pedológica. Assim, quanto maior a capacidade de retenção e infiltração de água no solo, menor a capacidade de escoamento superficial, por outro lado, solos rasos com baixa capacidade de drenagem elevam a capacidade de escoamento superficial. Desse modo, foram atribuídas notas maiores aos solos com maior capacidade de reter e acumular água, notas menores a solos com potencial de gerar escoamento superficial (Tabela 9).

Tabela 9. Reclassificação do mapa de Solos.

Solos	Nota
Afloramento Rochoso	2
Neossolo Litólico	1
Argissolo vermelho amarelo	4
Gleissolo Háptico	10
Latossolo vermelho	5
Neossolo Quartzarênico	3

C) Mapa Geomorfológico:

A análise geomorfológica é essencial para a compreensão da dinâmica hídrica, bem como para avaliar as áreas onde a intervenção antrópica causou alterações consideráveis no ambiente, sendo fundamental para a avaliação da suscetibilidade aos alagamentos, sobretudo no que concerne à formação das

inundações por meio do mapeamento das planícies de inundação dos cursos d'água. Assim, as notas mais elevadas foram atribuídas aos compartimentos geomorfológicos com menor declividade (Tabela 10).

Tabela 10. Reclassificação do mapa Geomorfológico.

Geomorfologia	Nota
Planície fluvial	10
Colinas convexas com declividade de até 6% (Vc)	7
Colinas convexas com declividade de até 12% (Vc)	4
Colinas convexas com declividade de até 20% (Vc)	2
Relevo dissecado em morrotes topo convexo (Tc)	1
Relevo dissecado em morro topo convexo (Tc)	1

D) Mapa de Declividade:

O estudo da declividade das vertentes permite uma análise do fluxo das águas na superfície, além da compreensão dos processos erosivos que arrastam materiais para os cursos d'água. É um dado essencial que, em conjunto com a observação de outros fatores, possibilita a análise da suscetibilidade de determinada área a absorver ou escoar superficialmente a água precipitação.

Assim, a determinação dos valores para as classes de declividade, partiu do pressuposto que, quanto mais plano o relevo, maior o potencial de retenção de água e, quanto maior a inclinação, menor a possibilidade e acúmulo de água.

Seguindo os intervalos de declividade propostos pela EMBRAPA (2005), as altas declividades apresentaram valores próximos a 0 e as baixas declividades foram representadas por valores próximos a 10 (Tabela 11).

Tabela 11. Reclassificação do mapa de Declividade.

Declividade (%)	Nota
0 – 3% (plano)	10
3 – 8% (suavemente ondulado)	5
8 – 20% (ondulado)	4
20 – 45% (fortemente ondulado)	2
45 – 75% (montanhoso)	1
< 75% (fortemente montanhoso)	1

e) Escoamento Superficial:

Os pesos foram distribuídos conforme a capacidade da superfície de gerar escoamento superficial, ou seja, notas maiores a lugares com alto potencial de gerar escoamento, valores baixos com superfícies com baixo escoamento e alta capacidade de drenagem, no qual, infere-se que essas áreas infiltrem a maior quantidade de água pluvial diminuindo a capacidade de retenção em superfície.

Inicialmente realizou-se uma classificação em ordem crescente dos intervalos de escoamento superficial segundo o método de *Jenks* (quebras naturais) e, em seguida, os locais onde apresentaram escoamento elevado atribuíram-se notas maiores, e áreas que apresentaram escoamento menos elevado atribuíram-se notas menores (Tabela 12).

Tabela 12. Reclassificação do mapa de Escoamento Superficial.

Escoamento Superficial (mm)	Nota
1 - 36	1
37 - 60	2
61 - 76	3
77 - 89	4
90 - 105	5
106 - 122	7
123 - 164	10

4.2.8.2 Fase Operacional: Aplicação do método AHP

A análise multicritério necessita que diferentes critérios sejam combinados, e para utilizar esta técnica foi necessário definir a importância relativa de cada um dos critérios considerados no processo de decisão. Isso foi feito atribuindo-se um determinado peso a cada critério com certa lógica e organização.

A definição dos valores de importância relativa entre os critérios determina os dados de entrada na matriz de comparação pareada e, a partir deles, foram calculados os pesos ponderados dos fatores (autovetor da matriz) e a consistência do julgamento da matriz (máximo autovalor da matriz). Sendo assim, foi construída uma matriz de comparação pareada (Tabela 13), onde os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando como base a escala de Saaty

(1991), definida no capítulo IV (Tabela 3). Desta forma, a matriz de comparação pareada proposta para o mapeamento de áreas suscetíveis às inundações e/ou alagamentos está representada na Tabela 13.

Tabela 13. Matriz de comparação pareada proposta.

FATORES	Solos	Altitude	Escoamento	Declividade	Geomorfologia
Solos	1	1/3	1/3	1/7	1/9
Altitude	3	1	1/3	1/3	1/7
Escoamento	3	3	1	1/3	1/3
Declividade	7	3	3	1	1/3
Geomorfologia	9	7	3	3	1

No julgamento dos fatores, o mapa de geomorfologia foi o que obteve maior grau de importância sobre as outras variáveis. Comparado ao tipo de solo, o grau de importância atribuído a ele foi de 9 (importância absoluta), uma vez que é o tipo de solo que define a formação das inundações e/ou alagamento. A composição pedológica na BCI é bastante arenosa em sua composição granulométrica, favorecendo a infiltração das águas superficiais. Quando confrontamos a geomorfologia com a declividade estabeleceu-se o grau de importância três (importância relativa pequena da variável geomorfologia com relação a geomorfologia), pois a geomorfologia foi extraída da declividade, representado por compartimentos que definiram áreas mais precisas em relação à suscetibilidade de ocorrência dos processos sob estudo.

A declividade quando confrontada com o escoamento superficial recebeu um grau de importância três (importância pequena da declividade com relação ao escoamento superficial), porque a declividade exerce o direcionamento das águas pluviais, favorecendo a formação de áreas sujeitas à retenção e acúmulo dessas águas.

O fator declividade quando comparado com a altitude recebe grau de importância três (moderadamente mais importante que), já que a declividade e altitude na BCI são relativamente baixas, e estão situadas em alguns locais específicos da área de contribuição da bacia, de modo a propiciar um

escoamento superficial moderado ou lento, diminuindo a suscetibilidade à ocorrência dos fenômenos estudados neste trabalho.

A altitude recebeu um grau de importância três (moderadamente mais importante que), quando comparado com o tipo de solo. A razão para isso é que a altitude também influencia no tipo de solo, ou seja, em áreas mais elevadas a tendência é ter um solo menos profundo o que confere um grau de coesão maior para o escoamento superficial, o inverso ocorre com as planícies de inundação, com características úmidas na maior parte do ano.

Quando confrontamos o escoamento superficial com a altitude determinou-se um grau de importância três (moderadamente mais importante que), pois a elevação da bacia atua também no processo de escoamento superficial. Por outro lado a variabilidade altimétrica baixa contribui para um escoamento equilibrado, até por que a composição pedológica da região é muito arenosa, e estes fatores somados entre si, tendem a apresentar uma baixa suscetibilidade às inundações e alagamentos.

O escoamento superficial recebeu um grau de importância três (moderadamente mais importante que), quando comparado com os tipos de solo. Por um lado, solos que tendem a produzir um elevado escoamento superficial não são unânimes na formação de inundações e alagamentos, variando muito mais em função das características geomorfológicas, pois estas definem bem os compartimentos morfoesculturais da bacia.

O escoamento superficial relativamente elevado tende a apresentar uma suscetibilidade maior para formação de inundação e alagamentos nessas áreas, porém essas áreas estão sujeitas a outras condições. Em locais com altitude e declividade acentuada, com formação geomorfológica montanhosa, o escoamento será alto, por outro lado a suscetibilidade à ocorrência destes fenômenos será muito baixa. Na planície de inundação, com a vegetação bem conservada, o escoamento tenderá a ser lento, por outro lado, a formação pedológica propicia a retenção das águas pluviais e na formação de inundações e alagamentos.

O julgamento desses fatores confrontados entre si e ajustados de acordo com as características específicas da região, buscou representar com maior precisão e segurança as condições físicas encontradas na área de estudo. Logo, quando um fator é confrontado com ele mesmo, o único resultado é um, pois possui igual importância, o que está representado na diagonal da matriz. Esse

limite é importante para a pesquisa, pois a partir do momento que todos os fatores se cruzam, a submatriz superior passa a ser apenas um espelho, ou inverso dos valores abaixo da diagonal inferior.

Possuindo os valores de importância relativa dos fatores, determinam-se os pesos estatísticos para cada variável utilizada no modelo proposto, dividindo cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence e fazendo-se a média entre as colunas, determinando assim cada peso, conforme a metodologia proposta por Saaty (1991). A determinação dos pesos estatísticos para cada variável está representada na Tabela 14.

Tabela 14. Determinação dos pesos estatísticos.

FATORES	Solos	Altitude	Escoamento	Declividade	Geomorfologia	Pesos
Solos	1/23=0.0435	0.3333/14.3333=0.0233	0.3333/7.6666=0.0435	0.1429/4.8095=0.0297	0.1111/1.9206=0.0578	0.0396
Altitude	3/23=0.1304	1/14.3333=0.0698	0.3333/7.6666=0.0435	0.3333/4.8095=0.0693	0.1429/1.9206= 0.0744	0.0775
Escoamento	3/23=0.1304	3/14.3333=0.2093	1/7.6666=0.1304	0.3333/4.8095=0.0693	0.3333/1.9206=0.1735	0.1426
Declividade	7/23=0.3043	3/14.3333=0.2093	3/7.6666=0.3913	1/ 4.8095= 0.2079	0.3333/1.9206=0.1735	0.2573
Geomorfologia	9/23=0.3913	7/14.3333=0.4884	3/7.6666=0.3913	3/ 4.8095=0.6238	1/1.9206=0.5207	0.4831
TOTAL						1.00

Foi obtido um valor de razão de consistência de 0,0482, assim pelo fato do valor da razão ser menor que 0,10, os pesos calculados para o modelo proposto são aceitáveis, de acordo com a metodologia proposta (Saaty, 1991).

De posse dos pesos calculados bem como da razão de consistência, elaborou-se uma fórmula (Equação 7) para modelagem matemática da suscetibilidade à inundação e/ou alagamento da BCI.

Equação 7. Suscetibilidade à Inundação e/ou Alagamento.

$$S = 0.4831 * \text{"Geomorfologia.tif"} + 0.2573 * \text{"Declividade.tif"} + 0.1426 * \text{"Escoamento.tif"} + 0.0775 * \text{"Altitude"} + 0.0396 * \text{"Solos.tif"}$$

O mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento foi gerado aplicando-se a Equação 7 no ArcGIS 10 com auxílio da ferramenta "*Raster Calculador*" localizada na extensão "*Spatial Analyst*". Por fim, foi realizada a reclassificação da escala de valores do mapa de suscetibilidade de acordo com a intensidade da suscetibilidade, determinadas em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta, muito alta.

Após a elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento foi realizada a análise dos resultados por meio de perfis topográficos (transversais), de modo a verificar a concordância entre as classes mapeadas pelo modelo com a dinâmica geoambiental da BCI bem como avaliar a qualidade do modelo.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

A seguir, relata-se os resultados referentes ao mapeamento do escoamento superficial espacialmente distribuído, assim como os mapas: grupos hidrológicos de solos, intensidade pluviométrica, hipsométrico, declividade e suscetibilidade à inundação e/ou alagamento.

5.1 Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos (GHS)

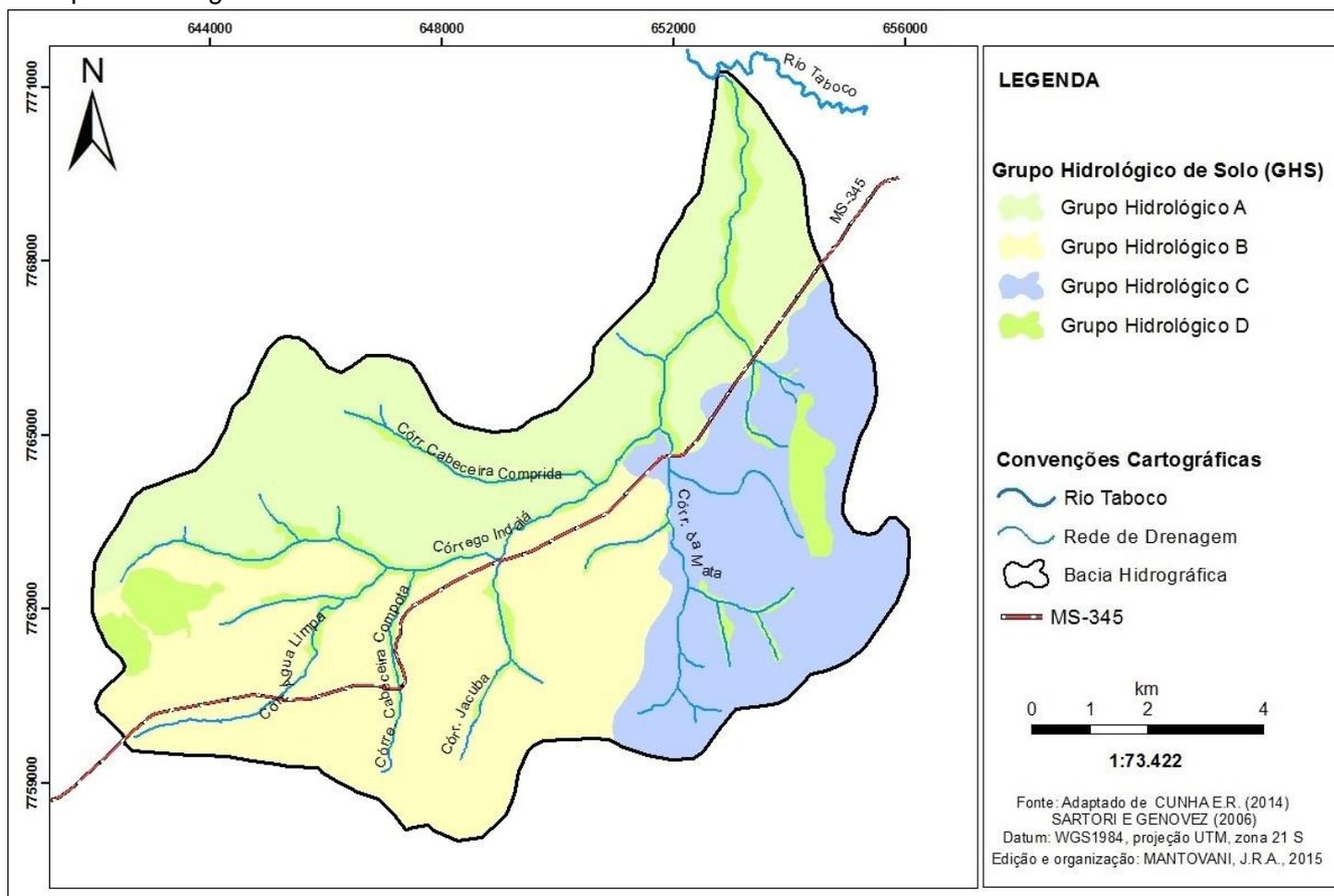
O mapa de GHS para bacia do Indaiá (Figura 35) agrupou os solos da área de estudo em quatro grupos hidrológicos de solos: A, B, C e D.

No grupo hidrológico A, foi associado o Neossolo Quartzarênico, considerado bem drenado devido à alta capacidade de infiltração de água pela maior presença de areia em sua composição granulométrica.

No grupo hidrológico B foi associado o Latossolo Vermelho, devido à profundidade e textura argilosa, enquanto que o Argissolo Vermelho-Amarelo, considerado mal drenado, foi associado ao grupo hidrológico C.

O Gleissolo Háptico, devido apresentar característica de má drenagem e suscetibilidade às inundações e processos erosivos, foi agrupado no grupo hidrológico D, assim como o Neossolo Litólico, devido à característica de contato lítico e os afloramentos rochosos localizado no baixo curso do córrego Indaiá na borda sudeste.

Figura 35. Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos



Na Tabela 15 indicam-se as áreas ocupadas em hectares e porcentagem pelas características pedológicas, bem como a classificação dos solos em grupos hidrológicos.

Tabela 15. Área Ocupada pelo mapa de GHS.

Tipos de Solos	Área Ocupada		Classificação Hidrológica
	Ha	%	
Neossolo Quartzarênico	3025,82	31,96	Grupo Hidrológico A
Gleissolo Háptico	695,82	7,35	Grupo Hidrológico D
Argissolo Vermelho Amarelo	2063,47	21,80	Grupo Hidrológico C
Latossolo Vermelho	3358,53	35,47	Grupo Hidrológico B
Neossolo Litólico	186,84	1,98	Grupo Hidrológico D
Afloramento rochoso	137,13	1,44	Grupo Hidrológico D
TOTAL	9467,61	100	

A maior parte da bacia pertence ao grupo hidrológico B em extensão, ultrapassando os 35%, seguido pelo grupo hidrológico A que representa aproximadamente 32%. O predomínio desses dois grupos hidrológicos proporciona um baixo potencial de escoamento superficial nessas áreas. Em seguida, o grupo hidrológico C, somando quase 22% em extensão. O grupo hidrológico D apresentou menor área na bacia, com pouco mais de 3% em área.

Esses dois últimos grupos hidrológicos somados representam aproximadamente 25% da área total da BCI, representam áreas com potencial elevado de gerar escoamento superficial.

5.2 Mapa Hipsométrico

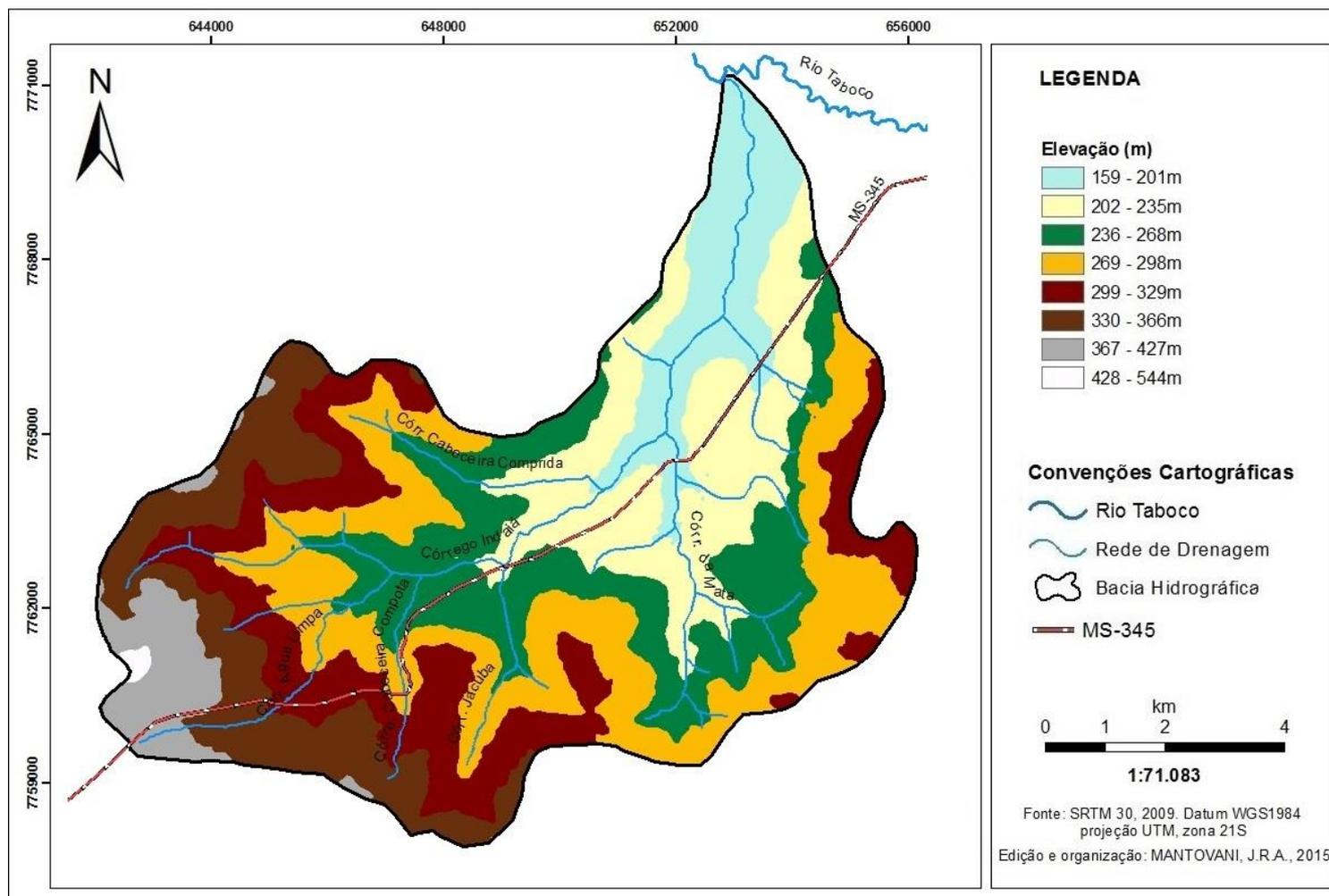
O mapa hipsométrico da BCI (Figura 36) revelou oito compartimentos altimétricos distribuídos ao longo da área de abrangência da bacia, compartimentando de acordo com os diferentes elementos e fatores que integralmente descrevem as características físicas e naturais, bem como o uso que está sendo desenvolvido nessas áreas.

A diminuição das cotas altimétricas dá-se, predominantemente, no sentido W – E, distribuídas da seguinte maneira:

- A) 159– 201 metros: representa a classe mais baixa de altitude, situada no baixo curso da BCI, nos fundos de vale com o rio Taboco, com destaque para formação de aluviões fluviais, recoberta por Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háplico ao longo da drenagem. Do ponto de vista da suscetibilidade a inundações e/ou alagamento são as áreas com maior potencial para ocorrência desses fenômenos.

- B) 202 – 235 metros: ainda situada no baixo curso do córrego Indaiá, essa faixa abrange parte da porção NO. Está relacionada com as características do baixo curso do córrego Indaiá, cujos solos dominantes são os Neossolos Quartzarênico, de textura arenosa, e os Gleissolos Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo, que potencialmente propiciam um elevado escoamento superficial e um grau de suscetibilidade à retenção de água, propiciando formação de inundações e alagamento.

Figura 36. Mapa Hipsométrico da BCI.



- C) 236 – 268 metros: situado no médio curso da BCI, este compartimento altimétrico, destaca-se por representar as colinas dos canais da rede de drenagem nas bordas laterais, mas no centro é uma área de grande recepção dos canais de drenagem, pois confluem diretamente no córrego principal. A cobertura pedológica desse compartimento associa-se os Neossolos Quartzarênicos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Gleissolos Háplico e Latossolo Vermelho.
- D) 269 – 298 metros: é a faixa de transição entre o médio e o alto curso da BCI. Com presença de planícies de inundação formadas por Gleissolo Háplico e vales encaixados que caracterizam a densidade elevada da rede de drenagem nesse patamar.
- E) 299 – 329 metros: marca o início do alto curso da BCI. Maior presença de Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, com destaque para formação geomorfológica de colinas em “V”, nas quais definem-se alguns canais da rede de drenagem.
- F) 330 – 366 metros: ainda representa o início do alto curso da BCI, está inserida em maioria na compartimentação geomorfológica formada por colinas, com presença de Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho e Gleissolo Háplico, presente na calha do córrego Indaiá.
- G) 367 – 427 metros: antecede a faixa mais elevada em altitude da BCI. Formada majoritariamente por Neossolo Litólico e Latossolo Vermelho, sob domínios geomorfológicos de colinas e morrotes. É a transição entre a nascente do córrego Indaiá.
- H) 428 – 544 metros: representa a altitude mais elevada de toda BCI. Formadas geomorfologicamente por morros, com composição pedológica de Neossolo Litólico. É onde o principal córrego que drena essa bacia nasce, com forte presença de vegetação no seu entorno.

A Tabela 16 indica um forte domínio de áreas ocupadas pela classe “E” que abrange grande parte das colinas em formato “V” e abrange o afloramento rochoso na borda sudeste da BCI, seguida da classe “F” que abrange os morrotes situado a oeste. A menor classe em área foi a “H”, são as maiores altitudes da bacia, com presença de morro.

Tabela 16. Área ocupada para as classes do mapa hipsométrico.

Classes Altimétricas	Intervalos altimétricos em metros	Área Ocupada	
		Ha	%
A	159 – 201	592,86	6,26
B	202 – 235	919,73	9,71
C	236 – 268	976,42	10,31
D	269 – 298	1022,17	10,80
E	299 – 329	3223,80	34,06
F	330 – 366	1998,13	21,11
G	367 – 427	707,62	7,47
H	428 – 544	22,79	0,24
Total		9467,61	100

5.3 Mapa de Intensidade Pluviométrica (IP)

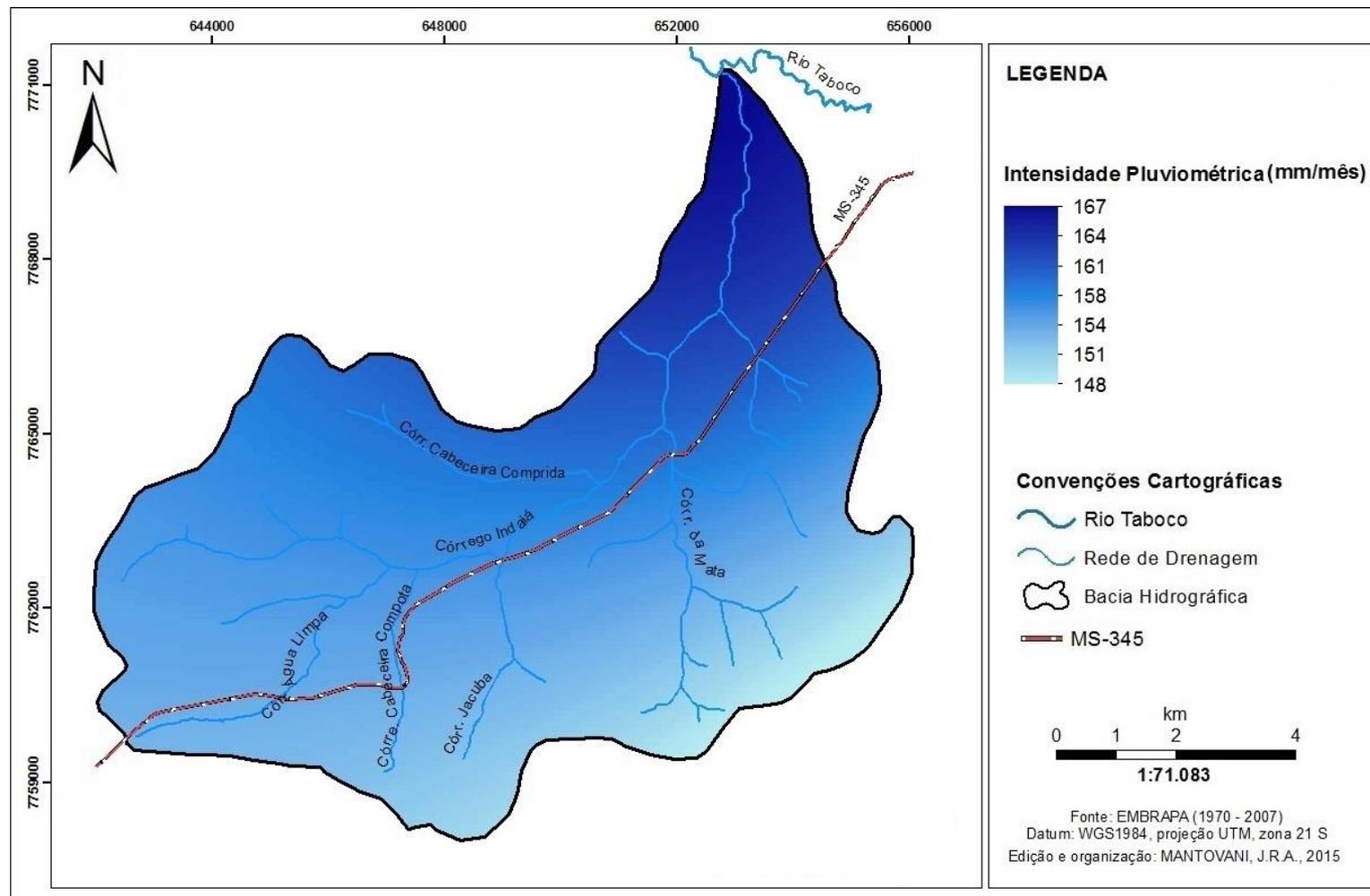
A intensidade pluviométrica da BCI mapeada, compreendeu o período de 1970 a 2007 (Figura 37), apresentou uma baixa variação da distribuição da precipitação, que foi em torno de 135 a 167mm. As maiores intensidades estão concentradas na porção norte da bacia, principalmente na parte que compreende ao primeiro compartimento hipsométrico sob a planície de inundação do baixo curso do córrego Indaiá, na sua foz com o rio Taboco. A borda sudeste da BCI, apresentou os menores valores de IP.

A variação da distribuição espacial dos valores de IP é importante para analisar a dinâmica do comportamento pluviométrico da área, pois refletem um padrão e/ou uma tendência dos locais onde serão mais atingidos pelas chuvas durante o período mais chuvoso.

Nessa pesquisa, os valores de IP foram utilizados para modelar o escoamento superficial espacialmente distribuído, associadas às características

de cobertura vegetal, uso do solo e condições hidrológicas dos solos, de modo a obter um padrão de escoamento superficial da área total da bacia, considerando a escala temporal como a fonte de dados utilizadas durante o processo, dessa forma, obter indicadores para analisar a suscetibilidade à inundação e/ou alagamento, de modo distribuído para BCI.

Figura 37. Mapa de Intensidade Pluviométrica.



5.4 Mapa de Escoamento Superficial

O mapa de escoamento superficial (Figura 38) mostrou que os valores mais elevados de escoamento estão localizados nas áreas de altitudes mais elevadas da bacia, situadas no alto curso do córrego Indaiá e também em pontos específicos no médio curso, postos na borda sudeste da BCI, com valores entre 90 - 164 mm/mês. Os menores valores de escoamento estão situados no baixo curso do córrego Indaiá, e também ao longo da borda norte da bacia, variando de 1 a 36 mm/mês. Os valores entre 37 - 89 mm/mês de escoamento estão distribuídos uniformemente na bacia, com maior intensidade no alto e no médio curso do córrego Indaiá.

Os valores elevados de escoamento superficial, estão associados com áreas ocupadas majoritariamente por pastagens sem manejo associadas a um terreno suave ondulado e fortemente montanhoso. A pastagem em mau estado de conservação (degradada), situadas em locais com presença de campos gramíneos úmidos (baixa capacidade de retenção de água), associado a um solo com baixa capacidade de drenagem superficial (Argissolo Vermelho-Amarelo), somadas essas especificidades conferem esses locais a capacidade de gerar escoamento superficial.

No extremo oeste da bacia (montante), embora haja a cobertura vegetal formada pela floresta estacional decidual, o valor elevado de escoamento é devido a estar sob a altitude mais elevada da bacia (544m), formada por Neossolo Litólico, com baixa capacidade de drenagem, associadas a um relevo fortemente montanhoso com declividades que ultrapassam 20%.

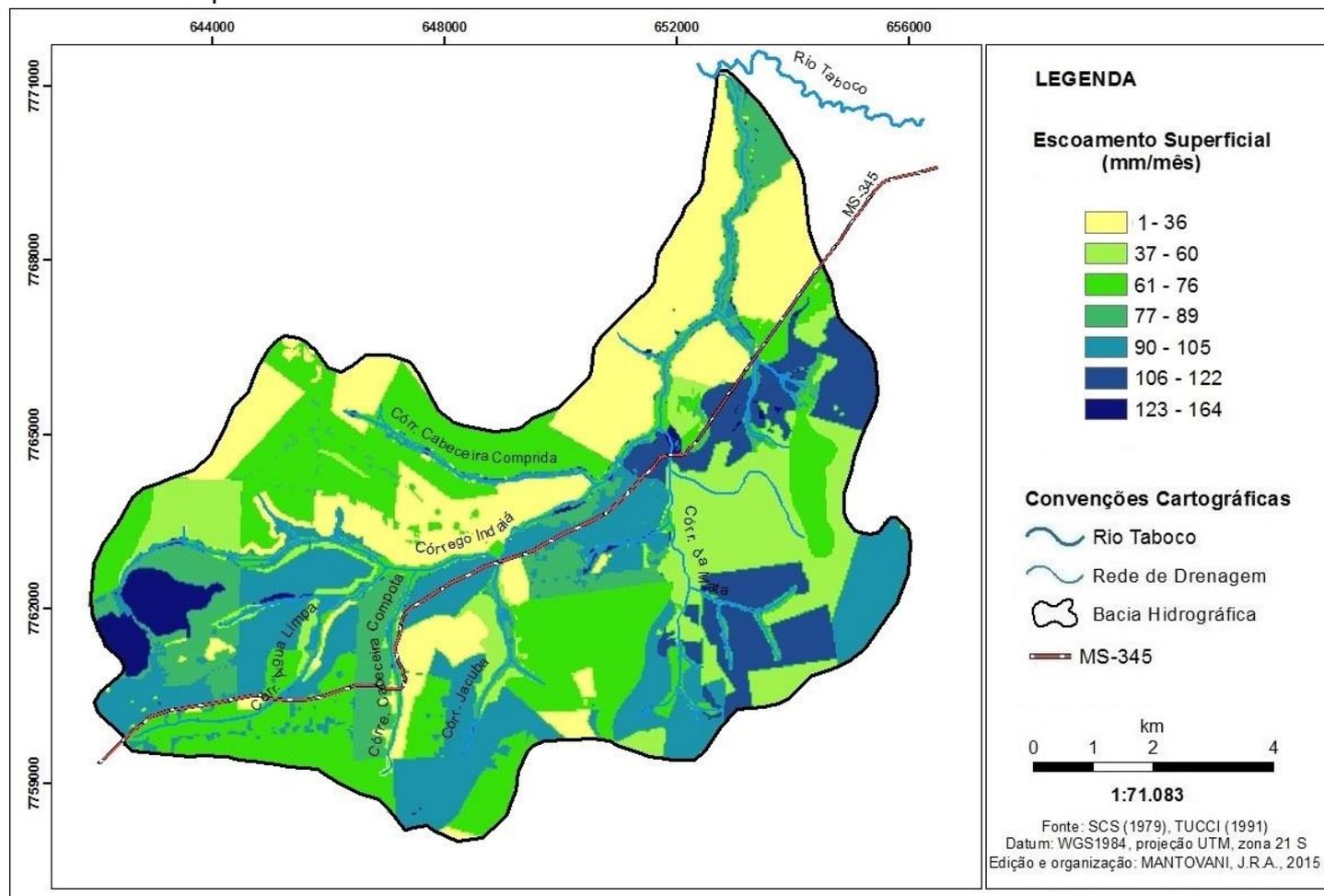
A faixa que compreende a extensão NO - NE da bacia, no qual correspondeu o menor valor de escoamento, variando de 1 - 36 mm/mês, em razão da área ser composta pelo Cerradão e situada num solo bem drenado, com alta capacidade de infiltração superficial e subsuperficial (Neossolo Quartzarênico). Chamou atenção o escoamento na área com solo exposto para agricultura, entre 61 - 89 mm/mês, devendo haver precauções como curvas de nível, para não haver perdas econômicas em eventos extremos e desencadear processos erosivos e alagamentos nessas áreas.

Ao longo da rede de drenagem o comportamento do escoamento superficial se mostrou controlado, refletindo o bom estado de conservação da

vegetação ciliar ao longo da bacia, favorecendo o equilíbrio hidrológico no ambiente, com escoamento superficial em torno de 37 - 105 mm/mês, garantindo uma boa recarga aos canais que compõe a rede de drenagem, evitando picos de cheias, processos erosivos e assoreamento.

O restante da bacia, com os menores valores de escoamento, considerados baixos, variando entre 37 - 60 mm/mês, estão caracterizadas pela presença de campos e pastagens sem manejo, no qual, influenciam diretamente na elevação do potencial de escoamento superficial, todavia a composição pedológica (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico) combinado com relevo suave ondulado (declividades inferiores a 20%) possibilitam uma boa drenagem, amenizando o escoamento superficial.

Figura 38. Mapa de Escoamento Superficial.



A distribuição espacial das classes mapeadas (Tabela 17), mostrou que o escoamento foi bem equilibrado ao longo da bacia. A maior classe mapeada, representou aproximadamente 26 % da área total, variando de 61 – 76 mm/mês de escoamento, seguida da classe de valor mais baixo de escoamento, variando entre 1 – 36 mm/mês, com área total de aproximadamente 21%.

Tabela 17. Área ocupada pelas classes de escoamento superficial.

Escoamento Superficial (mm/mês)	Área Ocupada	
	Ha	%
1 - 36	1954,26	20,64
37 - 60	1227,27	12,96
61 - 76	2498,53	26,39
77 - 89	953,77	10,07
90 - 105	1813,23	19,15
106 - 122	726,23	7,67
123 - 164	249,79	2,63
Total	9467,61	100

A classe intermediária entre esses valores, variou de 37 – 60 mm/mês de escoamento, representando aproximadamente 13% da área total. Somadas, essas classes representam aproximadamente 60% em área da BCI. Os valores mais elevados de escoamento, que variaram de 90 – 164 mm/mês, somados ocuparam aproximadamente 29% da área total da bacia.

5.5 Mapa de Declividade

As diferentes inclinações do relevo apresentam uma forte relação com a dinâmica hidrológica, sobretudo no escoamento superficial das águas e áreas naturalmente expostas às inundações e/ou alagamentos, nas quais, a cobertura vegetal e os diferentes usos da terra atuam integralmente também nos processos naturais. Assim, a declividade da BCI (Figura 39), foi classificada seguindo as faixas de declividade estabelecidas pela EMBRAPA (2005), constituindo-se em seis classes: a) 0 – 3%; b) 3 a 8%; c) 8 – 20%; d) 20 – 45%; 45 – 75%; < 75%.

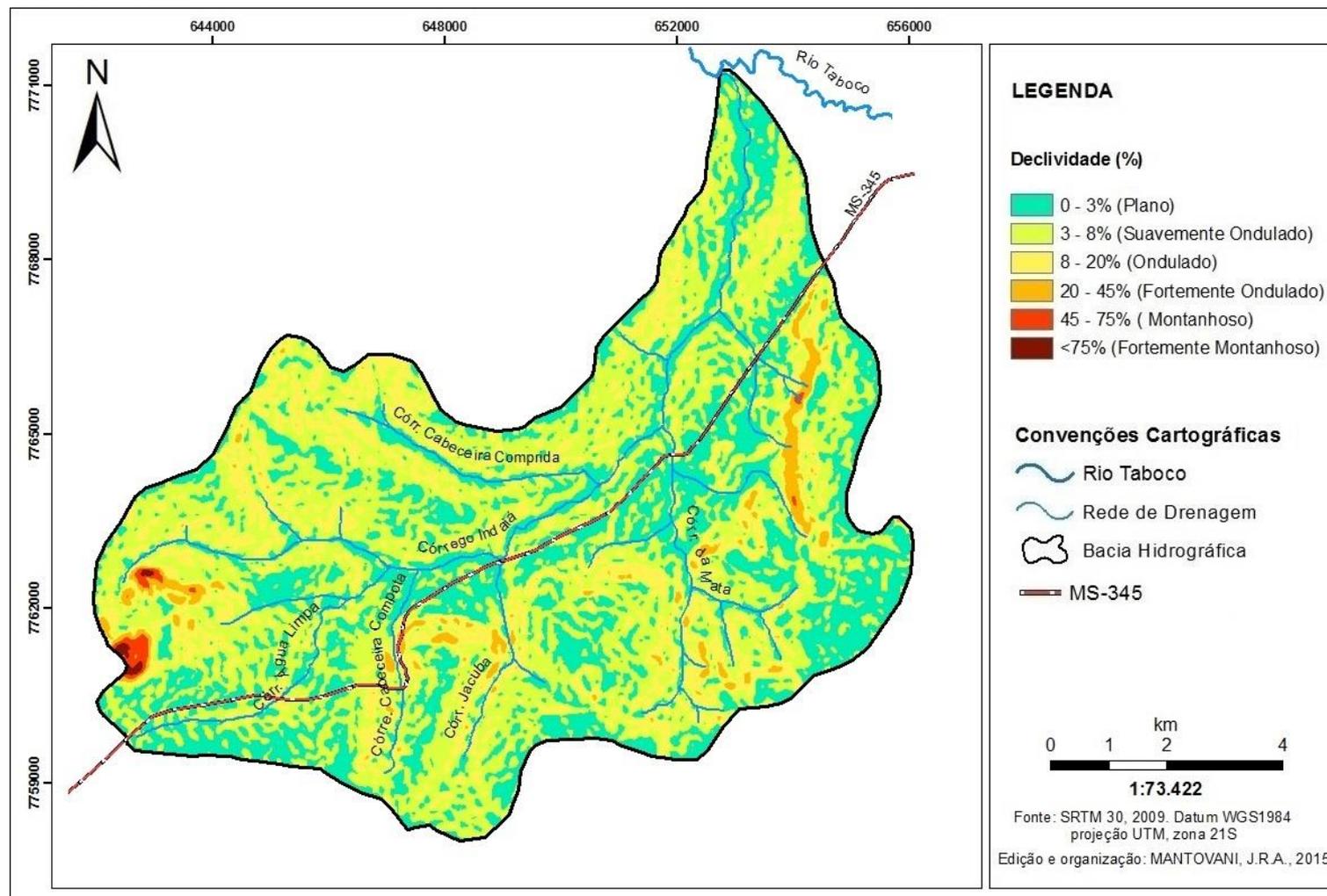
Na Tabela 18 expressam-se as diferentes classes para o mapa de declividade e suas respectivas áreas.

Tabela 18. Área ocupada para as classes de Declividade.

Tipos de Relevo	Intervalos de Declividade Em %	Área Ocupada	
		Ha	%
Plano	0 – 3%	1340,96	14,17
Suavemente ondulado	3 – 8%	6681,15	70,62
Ondulado	8 – 20%	1385,31	14,64
Fortemente Ondulado	20 – 45%	45,8	0,48
Montanhoso	45 – 75%	6,75	0,09
Fortemente montanhoso	<75%	-	-
Total		9467,61	100

- a) 0 – 3%: caracteriza-se como a terceira maior faixa de declividade da bacia em extensão da BCI, representa 14% da área total. Destaca-se por apresentar as menores declividades, caracteriza o relevo plano, além de abranger a planície de inundação de parte da rede de drenagem.

Figura 39. Mapa de Declividade.



- a) 3 – 8%: é a maior classe clinográfica em extensão da BCI, ultrapassando os 70% da área total. Essas áreas são caracterizadas pela presença de um relevo suave ondulado.
- b) 8 – 20%: compreende a segunda maior classe em extensão na bacia. Está situada em quase todo o limite da bacia, confere um relevo com característica ondulada.
- c) 20 – 45%: ocorre em dois pontos específicos da bacia, na borda sudeste sob os afloramentos rochosos, e nos morros e morrotes no extremo leste, dominados pelas mais altas declividades da bacia, marcado por um relevo fortemente ondulado.
- d) 45 – 75%: situa-se predominantemente no extremo leste e também o ponto mais alto de toda BCI, onde marca o limite do planalto Maracaju-Campo Grande, formado por um relevo montanhoso.
- e) < 75%: não há presença dessa formação clinográfica.

5.6 Mapa de Suscetibilidade à Inundação e/ou Alagamento

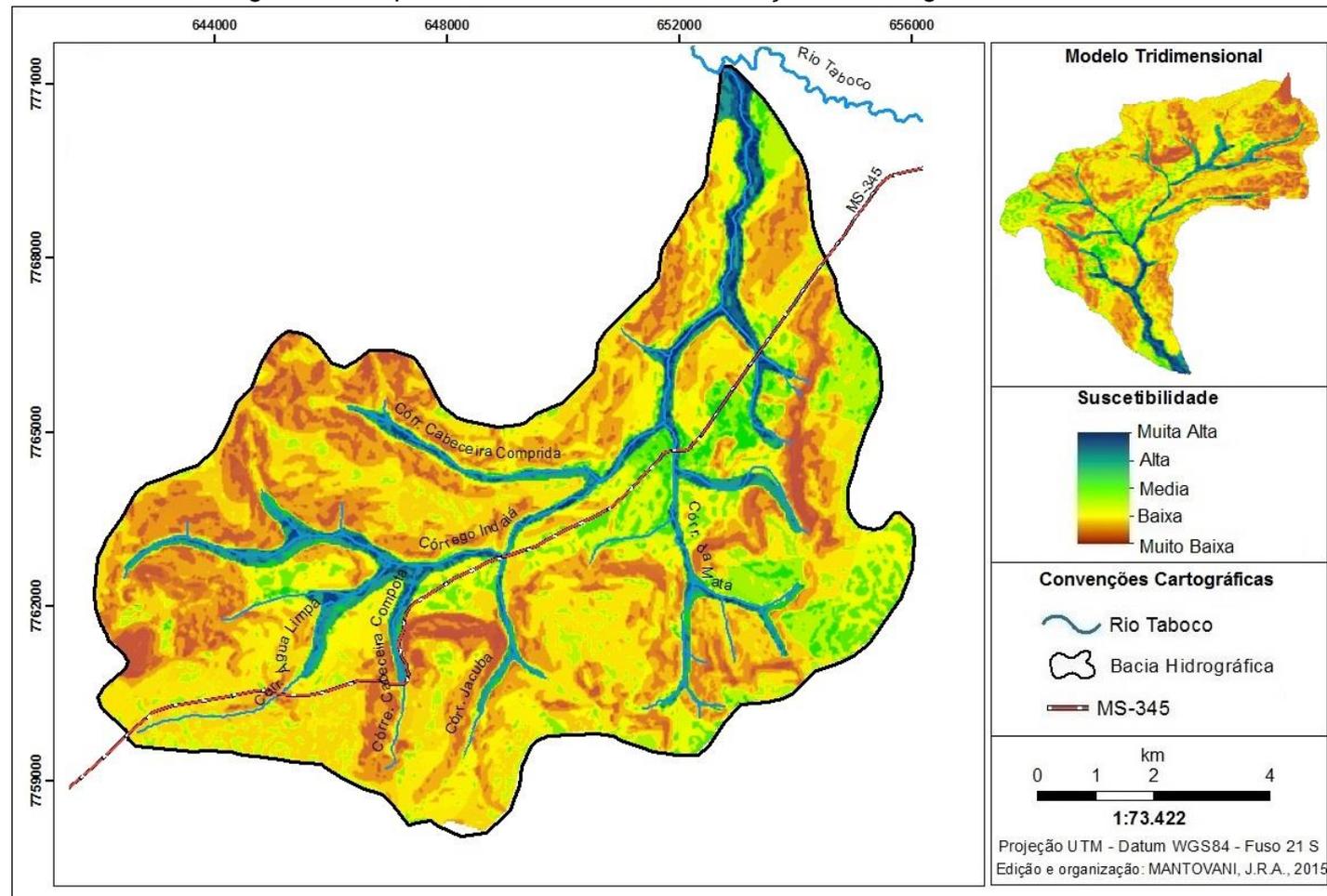
O mapa da suscetibilidade à inundação e/ou alagamento (Figura 40), apresentou maior concentração de áreas suscetíveis na região sudeste da BCI, situada aproximadamente no médio curso do córrego Indaiá, variando de “média” intensidade para as áreas fora da planície fluvial, caracterizando os alagamentos, e “alta” à “muita alta” intensidade para as áreas sob a planície fluvial dos canais de drenagem, caracterizando neste caso à inundação.

No baixo curso do córrego Indaiá, a intensidade variou entre “média” e “baixa” nas áreas adjacentes à planície fluvial (alagamentos), já na planície de inundação do rio Taboco, na foz do córrego Indaiá, à suscetibilidade à inundação foi de intensidade “muita alta”.

A suscetibilidade à inundação mapeada em específico, é restrita apenas na planície fluvial, variando de intensidade na medida em que decresce o relevo, ou contrário. As áreas que abrangeram a planície fluvial, situadas sob a rede de drenagem da bacia do córrego Indaiá de modo geral, apresentaram um grau de suscetibilidade variando de intensidade “alta” e “muito alta”, nos quais, somadas as características topográficas, tem-se os fatores e condicionantes geoambientais que atuam nessa dinâmica.

Nas áreas mais elevadas, situadas no alto curso do córrego Indaiá, as áreas suscetíveis às inundações, apresentaram intensidade “alta”, no entanto no médio e baixo curso, houve suscetibilidade com intensidade “muito alta”, sob toda a planície. Além disso, a intensidade na confluência entre os canais que formam o córrego Indaiá, foi “muito alta”. Também no alto curso do córrego, a suscetibilidade mapeada, de pontos de alagamentos, foi de intensidade “média” ao longo do relevo.

Figura 40. Mapa de Suscetibilidade à Inundação e/ou Alagamento.



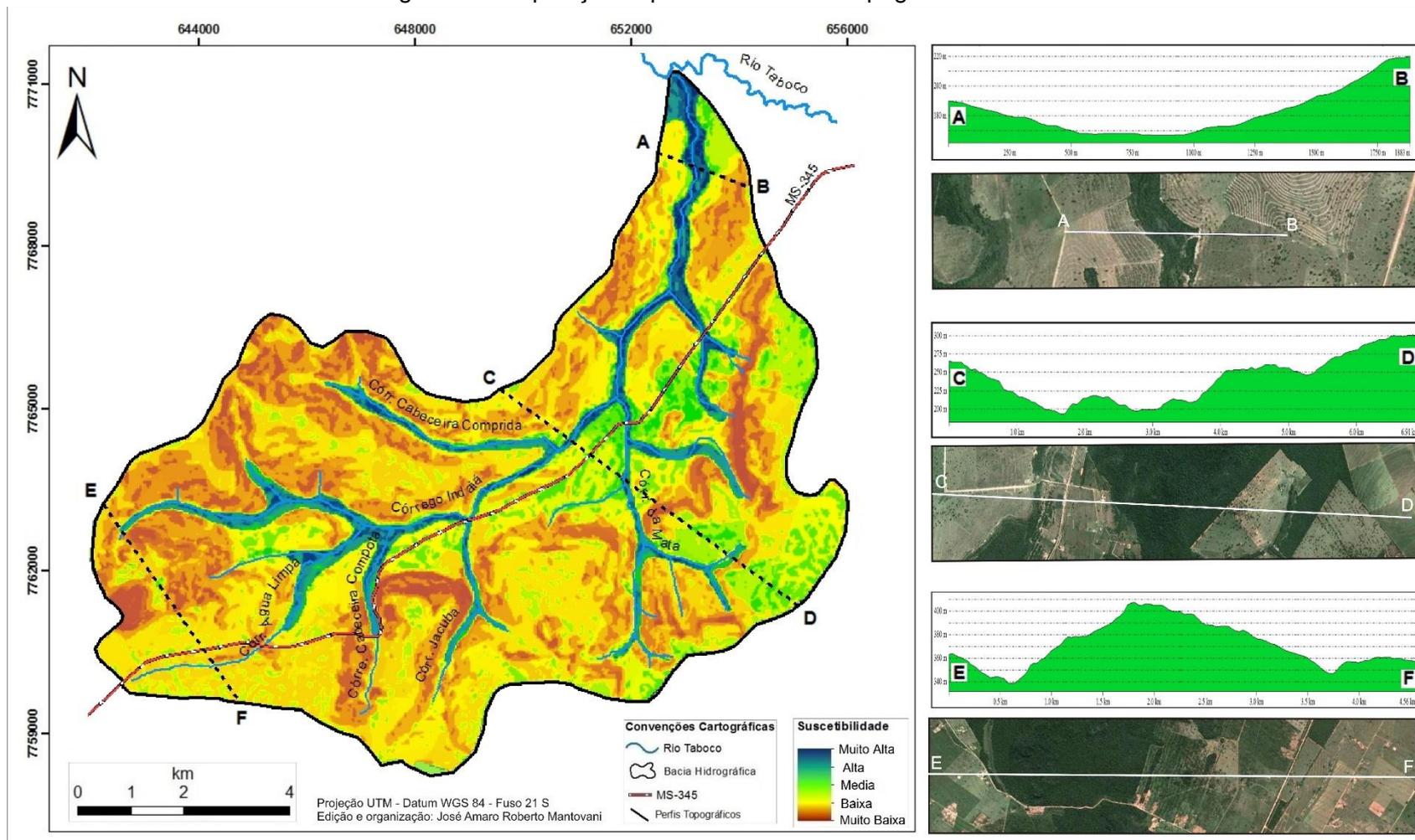
A distribuição espacial das classes mapeadas (Tabela 19), mostrou que a suscetibilidade “média”, foi a maior classe em área, representando aproximadamente 40% da área total da BCI. Em seguida, a suscetibilidade de intensidade “baixa”, com aproximadamente 22% da área total. A intensidade “muito alta” foi a menor classe em área da bacia, aproximadamente 9% da área total seguida da classe “muito baixa”, com cerca de 12% de área de abrangência.

Tabela 19. Área ocupada pelo mapa de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento.

Suscetibilidade	Área Ocupada	
	Ha	%
Muito baixa	1052,17	11,11
Baixa	2199,92	23,23
Média	3592,33	37,94
Alta	1698,98	17,94
Muito alta	824,82	8,71
Total	9467,61	100

A seguir serão discutidos os resultados obtidos no mapa de suscetibilidade, correlacionados com perfis topográficos, sobrepostos sob o mapa em análise, para entendimento da disposição linear topográfica associadas as características geoambientais. Para esta análise foram feitas três sessões topográficas distribuídas na bacia; baixo curso, médio curso alto curso do córrego Indaiá (Figura 41).

Figura 41. Disposição espacial dos Perfis Topográficos Analisados



O primeiro Perfil Transversal (A-B) foi traçado no baixo curso do córrego Indaiá. A suscetibilidade à inundação nessa área foi de “muito alta”, estando apenas concentrada na planície fluvial do córrego indaiá, na confluência com o rio Taboco. Somadas a esses condicionantes, a vegetação nessa área é formada por veredas, sob a composição pedológica de Gleissolo Háplico, nas quais, ambos atuam na dinâmica da inundação. Nas áreas adjacentes, a suscetibilidade aos alagamentos foi de “média” intensidade, associada, sobretudo, à baixa declividade e altitude. O restante da área, apresentou uma intensidade “baixa” de suscetibilidade, situado em áreas de pastagens (com terraço borda oeste, ponto A; e sem terraço borda leste, ponto B), composto por Neossolo Quartzarênico, o qual tem um potencial de retenção de água alto, evitando retenção de água e elevado escoamento superficial.

O segundo Perfil Transversal (C-D) corresponde ao médio curso do córrego Indaiá. Do ponto de vista dos alagamentos, a borda sudeste, apresentou maior suscetibilidade (proximidade do ponto D), de “média” intensidade, em razão de ser uma área geomorfologicamente plana e no seu entorno relevo suave ondulado, com uma morfologia convexa, propiciando assim a formação de áreas alagadas nesses pontos. Essa área é composta por pastagem com terraço sob um Argissolo, as quais contribuem para escoamento superficial elevado e assim corroboram na retenção de água, atuando na dinâmica de formação de alagamentos. Na Planície de inundação e adjacências do córrego Indaiá, a suscetibilidade também apresentou intensidade “média”. Está relacionada com o aspecto do relevo suave plano, sob áreas úmidas, cobertas por veredas e vegetação densa.

Na borda norte do perfil (C-D) especificamente nas proximidades do ponto C, a intensidade variou de “baixa” a “muito baixa”, se trata de uma área de encosta e não favorece morfologicamente a retenção de água, pelo contrário, acelera o escoamento para altitudes menores, mesmo caracterizado nessa área por um solo com alta capacidade de infiltração, arenoso (Neossolo Quartzarênico). Todas essas características somadas, tornam essa área propagadora de escoamento superficial, atingindo altitudes mais baixas, fato que comprova a intensidade “alta” da suscetibilidade na planície fluvial deste perfil no sentido do ponto C para o ponto D.

O terceiro perfil Transversal (E-F), está situado no alto curso do córrego Indaiá, pontualmente sob a nascente (proximidade do ponto E). A suscetibilidade

à inundação ficou restrita apenas a uma pequena faixa marginal de planície fluvial, devido à baixa densidade de drenagem nessa altitude. No caso dos alagamentos, a suscetibilidade variou de “muito baixa” a “baixa”. Na borda sul especificamente (proximidade do ponto F), algumas áreas apresentaram suscetibilidade “média”. Se trata de uma área topograficamente plana, circundada por declives ondulados e montanhosos, ocupada majoritariamente por pastagem (pasto sujo e pasto com terraço). A composição pedológica favorece a diminuição dessa intensidade, formada por Latossolo, que tem por essência boa drenagem superficial. Todos esses aspectos favoreceram na intensidade da suscetibilidade nesses pontos específicos.

O lado norte (proximidade do ponto E) a intensidade variou de “muito baixa” a “baixa”, está sob um relevo suavemente ondulado, formada por Neossolo Quartzarênico e com presença densa de floresta, nos quais, favorecem a infiltração e drenagem, diminuindo a condição de reter água.

De modo geral, não houve um grau elevado de suscetibilidade à inundação e/ou alagamento. Os valores mais elevados de suscetibilidade, especificamente de inundação, que variaram de “alta” a “muito alta” intensidade, ficaram restritos apenas na planície fluvial, no entorno da rede de drenagem da BCI. Além disso, notou-se que a variação da suscetibilidade está associada a amplitude altimétrica do relevo, ou seja, a suscetibilidade intensifica na medida em que decresce as cotas altimétrica do terreno.

As áreas onde a suscetibilidade foi “média”, estão relacionadas sobretudo com as baixas declividades e altitudes (fora da planície fluvial), solos com má capacidade de drenar, associada ao uso do solo sem manejo e ausência de cobertura vegetal. O grau de suscetibilidade “muito alta” está diretamente relacionado com a planície de fluvial ao longo da rede de drenagem, principalmente no baixo curso do córrego Indaiá, em razão das condições geoambientais da bacia.

6. CONCLUSÕES

A suscetibilidade à inundação e/ou alagamentos na bacia hidrográfica do córrego Indaiá revelou que as áreas com maior potencial englobam um conjunto de fatores, tais como: ausência de cobertura vegetal, baixas declividades, solos com baixa capacidade de drenagem, padrões e formas de relevo e ação antrópica, nas quais, influenciam diretamente na dinâmica do escoamento superficial, condicionando o surgimento de novas áreas alagáveis e/ou inundáveis ao longo da rede de drenagem. Além disso, notou-se que, a ação antrópica associada diretamente as alterações naturais relacionadas aos fatores supracitados podem intensificar o aumento de áreas alagáveis e/ou inundáveis situadas na bacia. De modo geral a bacia não apresentou um grau elevado de suscetibilidade, os locais onde foram mapeados os maiores índices, estão concentrados em pontos específicos no mapa.

Sobre o modelo gerado, ressalta-se que os resultados foram contundentes com as variáveis ambientais analisadas, pois foi capaz de mapear pontos isolados na bacia que apresentam declive acentuado associado a alguma condição ambiental ou intervenção antrópica favorável ao desequilíbrio do meio ambiente. A matriz de decisão bem como as variáveis reclassificadas permitiram aproximar a simulação dos parâmetros ambientais, sociais e econômicos que integralmente compõe essa bacia, de modo a obter a condição real dos fenômenos. Nesse sentido, os procedimentos operacionais relacionados ao uso de geotecnologias revelou-se eficaz para o tratamento e processamento dos dados orbitais e cartográficos, associado a análise integrada.

Desta forma, o modelo elaborado foi válido para mapear tanto a suscetibilidade à inundação quanto os alagamentos para bacia hidrográfica do córrego Indaiá, de modo a subsidiar ações de planejamento.

Por fim, destaca-se a importância de estudos geoambientais integrados com intuito de subsidiar planos, metas e ações que visam o uso ordenado da terra, de forma a prevenir e minimizar o surgimento de problemas relacionados à qualidade ambiental.

REFERENCIAS

ADAMI, M.; ALCÂNTARA, E. H.; FREITAS, R. M.; OLIVEIRA, C. G.; SOUZA, A. F.; STECH, J. L.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. **Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO)**. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1349-1356. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Available from: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A5J2G8>>. Acesso em: 01 de Agosto de 2012.

ALCÂNTARA – AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries**. Geomorphology, 2002.

ALHEIROS, M. M. et al. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife-PE, Brasil. 2003.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

AMBIENTE BRASIL. **Ambiente água: Ciclo hidrológico**. Disponível em:<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_doce/ciclo_hidrologico.html> Acesso em: abril. 2015.

ANJOS, Marcos. **Hidrologia I: Capítulo 2 - Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica**. Faculdade de Roseira: fev. 2010. Disponível em: <<http://www.engambiental2010.com.br/admin/downloads/ciclohidrologico.doc>> Acesso em: 16 de abr. 2011.

ARCGIS/ARCINFO – Esri Inc. **ArcGisVersion 10**. Environmental Systems Research Institute Inc. New York. 2012. 1 Cd Rom.

ATLAS MULTIREFERENCIAL. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul – **SEPLAN**. IBGE, 1990.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S. & AMENOMORI, C. J. **Riscos geológicos: aspectos conceituais**. In: In: 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. ABGE, 1990.

AVELINO, P. H. M. **Análise Geo-Ambiental Multitemporal Para Fins de Planejamento Ambiental: um Exemplo Aplicado à Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal, Mato Grosso – Brasil.** Anuário do instituto de geociências- UFRJ, v. 29-2, p. 225-246, 2006.

BACANI, V.M. **Geotecnologias aplicada ao ordenamento físico- territorial da bacia do alto rio Coxim-MS.** Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações Urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba – PB, 2006.

BARBOSA, Francisco de Assis do Reis. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB.** 2006. 114 p. (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

BANCO MUNDIAL e NAÇÕES UNIDAS. **Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention.** Washington, EUA: Banco Mundial, 2010.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico Econômico pelos Estados da Amazônia Legal.** Brasília. SAE-Secretaria de Assuntos Estratégicos/ MMAMinistério do Meio Ambiente. 1996.

BECKER B.; BRAUNSCHWEIG T. **Choosing research priorities by using the analytic hierarchy process: an application to international agriculture.** Swiss Centre for International Agriculture (ZIL), Swiss Federal Institute of Technology, ETHZentrum, SEC C7, CH–8092 Zürich, Switzerland.

BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da. SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). **Geomática e análise ambiental.** Vitória, ES: EDUFES, p. 32-46, 2007.

BRANDÃO, A.M. de P..M. Clima Urbano e Enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil,** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 47-1-2, 2001.

BRASIL, Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL:** Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Folha SE. 21. Campo Grande. Rio de Janeiro, 1982.

BRASIL, **Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas – Manual Operativo**, Ministério da Agricultura, Comissão Nacional de Coordenação do PNMH, Brasília, 1987.

BRASIL. Plano de conservação da bacia do alto Paraguai: **Análise Integrada e Prognóstico da Bacia do Alto Paraguai**. Brasília: PNMA, 1997.

BRASIL. **Código Florestal Brasileiro**. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, Diário Oficial da União, 2012.

BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Editora RiMa. 278p. 2003.

BUCHIANERI, V.C. **Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba**. Piracicaba, 2004.124p. Dissertação (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"). Universidade de São Paulo. 2004.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 1998.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to Remote Sensing**. 2 ed., GUILFORD, New York, London, 1996.

CAPOBIANCO, J. P. R., WHATELY, M. Billings 2000: **Ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da Região Metropolitana de São Paulo**. Relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99, São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002.

CARDOZO, F. S. **Análise das áreas suscetíveis a inundações e escorregamentos na bacia do Rio Forquilhas, São José / SC**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2009.

CARVALHO, T. M.; Bayer, M. **Utilização dos produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás.** Revista Brasileira de Geomorfologia – Ano 9, nº 1, 2008.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres.** Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998.

CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil) – Casa Militar – Governo do Estado de São Paulo – **Banco de Dados de Atendimentos** – Período 2000 a 2008. Não Publicado. Acesso em: Agosto de 2015.

CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil) – Casa Militar – Governo do Estado de São Paulo 2009. **Municípios que decretaram Situação de Emergência ou Calamidade Pública em 2009 (até julho de 2009).** Disponível em: <http://www.defesacivil.sp.gov.br/novo/documentos/homol130709.xls>. Acesso em: agosto de 2015.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology.** New York: McGraw-Hill Book, v.1. 1964. ISDR (INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION). Living with Risk. *A Global review of disaster reduction initiatives.* United Nations, Inter-Agency Secretariat. ISDR Secretariat. Preliminary Version. Geneva, Switzerland, 2002.

CORDERO, Ademar, LEON, Albanella Terán, MEDEIROS, Péricles Álves. **Medidas de Controle de Cheias e Erosões.** Revista de Estudos Ambientais. Blumenau: Editora da FURB, v.1, n.2, 27-45, 1999.

CORRÊA, J. A.; Correia Filho, F. das C. L.; Scislewski, G.; Neto, C.; Cavallon, L. A.; Cerqueira, N. L. de S. e Nogueira, V. L. **Projeto Bodoquena: relatório final.** Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2573. Goiânia, CPRM/DNPM, 8v. 1976.

CORSEUIL, C. W. (2006). **Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras Botucatu – SP.** Dissertação de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2006.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; 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: SAE/INPE, 2001.

CROSS, J. A. Megacities and Small Towns: Different Perspectives on Hazard Vulnerability. **Environmental Hazards**, 2001.

CUNHA, S.B; GUERRA, A.J. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

CUNHA, E. R.; SILVA, L. F.; AYACH, L. R.; BACANI, V, M. Imagens de Alta Resolução do *Google Earth* como Base para o Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Córrego Indaiá- MS. **Revista Pantaneira**, v. 14, p. 60-68, 2012.

CUNHA, E. R.; SILVA. L. F.; BACANI, V. M.; OLIVEIRA, T. C. M.; BARBOSA, E. H. B.; SAKAMOTO, A. Y.; PEREIRA. Z. V. **Caracterização da fragilidade potencial da Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal das Nascentes do Rio Apa: uma adaptação metodológica**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. Foz do Iguaçu, Brasil, 2013.

CUNHA, E. R. da ;BACANI, V. M.; FACINCANI, E. M.; SAKAMOTO, A. Y. ; LUCHIARI, A. **Remote sensing and gis applied to geomorphological mapping of the watershed stream Indaia, MS, Brazil**. In: 8th IAG International Conference on Geomorphology, 2013, Paris-France. 8th IAG International Conference on Geomorphology, 2013.

CUNHA, E. R.;BACANI, V. M.; FACINCANI, E. M.; SAKAMOTO, A. Y. ; LUCHIARI, A. **Remote sensing and GIS applied to geomorphological mapping of the watershed stream Indaiá, MS, Brazil**. In: 8th IAG International Conference on Geomorphology, 2013, Paris-France. 8th IAG International Conference on Geomorphology, 2013.

CUNHA, E. R. **Geoprocessamento aplicado a Estimativa da perda de Solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Indaiá-MS: Subsídios para o planejamento ambiental**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas – MS, 2015.

CUNHA, Sandra Baptista da. GUERRA, Antônio J. Teixeira. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

DECISION SUPPORT SYSTEMS GLOSSARY (DSS). 2006. Disponível em: Acesso em: 12 set. 2015

DEFESA CIVIL DO BRASIL (2006). Ministério da Integração Nacional – Secretaria Nacional de Defesa Civil, Brasília-DF. **Nota de recomendação sobre desastres**, publicada em web site. <[Http://www.defesacivil.gov.br/desastres/recomendações/inundação.asp](http://www.defesacivil.gov.br/desastres/recomendações/inundação.asp), acessado em 16 de junho de 2015.

DEGG, M. Natural Disasters: Recent Trends and Future Prospects. *Journal of the Geographical Association*. **Geography**, vol. 77, part 3, p. 199-209, 1992.

EMBRAPA (2006) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Edição, Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ, 306p.

FERREIRA, C. C. **Geotecnologias aplicada a criação e organização de banco de dados geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuriú – MS/BR**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas – MS, 2011.

FENG, Y.J., LU H., BI K. **Na AHP/DEA Method For Measurement of the Efficiency of R&D Management Activities in Universities**. International Federation of Operational Reaserach, 2004.

FLORENZANO, T. G. (org). **Geomorfologia. Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, Anais. 2005.

GOERL, R. F. Estudo de inundações em Rio Negrinho – SC sob a ótica dos desastres naturais. 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduaçãoem Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C., **Tomada de decisões em cenários complexos, Tradução técnica: Marcela Cecília González Araya**, São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, M. A. F. O Aquífero Guarani. In: GOMES, M. A. F. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e**

proposta de gestão com enfoque agroambiental. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 35-44, 2008.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações**. 2010. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo – SP.

GRANDZOL, Jhon R. Improving the Faculty Selection Process in Highr Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. BloomsburgUniversity of Pennsylvania. IR Applications Volume 6, August 24, 2005.

GRASSI, J.; DEPPE, F.; LOHMANN, M.; SANGOI, D. S. **Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SBSR, 16, 13 a 18 de abril de 2013, p. 2051-2058. Foz do Iguaçu. Anais Inpe, 2013.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648p.

HERRMANN, Jorge. **Horizontes**. Porto Alegre: Jornal Varanda Cultural, 9 eds., ano II agosto de 2008.

HERRMANN, M. L. de P. **Problemas Geoambientais na Faixa Central do Litoral Catarinense**. São Paulo: USP, Tese de Doutorado em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1999.

HERRMANN, M. L. P.; CARDOZO, F. S. **As Inundações no Município de São José-SC e suas Consequências nos Bairros Flor de Nápoles, Jardim Pinheiros e Forquilhaes na Bacia do Rio Forquilhaes**. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia - II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte - MG. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia - II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (HEC). HEC-GeoHMS: **Geospatial hydrologic modeling extension**. US Army Corps of Engineers. User's Manual. Version 4.2. 2009. Disponível em <www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms>. Acesso em 02 de junho de 2014.

ICSU – International Council for Science. Report to ICSU General Assembly. Scoping Group on Natural and Human-Induced Environmental Hazards. **Suzhou**: October, 2005.

INCRA, **Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária**. Disponível em <<http://www.incra.gov.br/index.php/noticias-sala-de-imprensa/noticias/9946-incra-lanca-complexo-de-assentamentos-em-aquidauana>> Acesso, 29, julho, 2014.

KAFLE, T. P.; HAZARIKA, M. K.; SHRESTHA, K. G.; PRATHUMCHAI, K.; SAMARAKOOM, L. Integration of remote sensing and GIS model with flood simulation model for flood hazard mapping in the Bagmati river, Nepal. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGACITIES IN ASIA**, 5, Phuket, Thailand. p. 257-268, 2006.

KAMIGASHIMA, K. E. **Redução das Manchas de inundação da sub-bacia do rio Bucarein, Joinville, SC, através de medidas não-estruturais**. Trabalho de Graduação – Universidade do Estado de Santa Catarina – SC, 2011.

KOBIYAMA, M. (Org.). **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. OrganicTrading, 2006.

LIMA, L. M. M. Mapeamento da Suscetibilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre - RS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 2010.

MANTOVANI, J.R.A, ALCÂNTARA, E. H., ROCHA, P.C., CURTARELLI, M.P., IMAI, M.N.; **Estimativa do Escoamento Superficial Distribuído na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe por meio de Geoprocessamento**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, INPE Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. **O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso**. Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Porto Seguro, BH, Brasil, 1 a 4 de setembro de 2009.

MELESSE, A.M.; SHIH, S.F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1-3, p. 173-183, 2002.

MELO, A. B. C. Previsão de chuvas acima da média para o setor leste do Nordeste. Infoclima: Boletim de Informações Climática, Brasília, DF, ano 18, n. 4, abr. 2011. Disponível em <http://infoclima1.cptec.inpe.br/> acesso em 19 dez 2015.

MONTEIRO, C.A.F. **Clima e Excepcionalismo** – conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: UFSC, 1991, 241 p.

MONTEIRO, M. A.; MENDONÇA, M. Dinâmica Atmosférica no Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. P. (org). Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: IOESC, 2005, 146 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2005.

NOVO, E. M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2010.

NRCS - **Natural Resources Conservation Service**. “Chapter 7: Hydrologic Soil Groups”. In: National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology. 2009. Disponível em: <<http://directives.sc.egov.usda.gov/>>. Acesso em: 15 de maio de 2014.

NUNES, F. G. **Modelagem hidrológica e técnicas de geoprocessamento na estimativa da impermeabilização do solo e escoamento superficial da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns - Goiânia (GO)**. Ateliê Geográfico (UFG), v. 6, p. 55-74, 2012.

PALACIOS, J. L.; CHUQUISENGO, O.; FERRADAS, P. **Gestão de Riscos nos Governos Locais**. Lima: Soluciones Práticas – ITDG, 2005.

PILGER, J. D. **Elaboração do mapa de risco de Inundação na Bacia do Rio Taquari-Antas utilizando SIG. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, 2011.**

PILGER, J. D. **Elaboração do mapa de risco de Inundação na Bacia do Rio Taquari-Antas utilizando SIG**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS.

PINTO, A. L. **Saneamento básico e suas implicações na qualidade das águas subterrâneas da cidade de Anastácio (MS)**. 1998 175. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista/ Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1998.

ROSA, R. O. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 2ª Fase; Síntese Temática - Geomorfologia**. Florianópolis, IBGE/DIGEO-SUL, 1995.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 3.ed. Uberlândia: Edufu, 1995.

ROSA, R; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento**. Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia: UFU, 1996.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 16, p 81-90, 2005.

ROSS, J. L. S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Geografia, FFLCH – USP, São Paulo, n.6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. Lab. Geomorfologia – Depto de Geografia – FFLCH/USP, 1993.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia aplicada aos EIAS-RIMAS**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). Geomorfologia e meio ambiente. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 291-336, 2000.

ROSS, J.L.S. 2001. Inundações e deslizamentos em São Paulo. Riscos da relação inadequada sociedade-natureza. **Revista Territorium**. Lousã (Portugal) nº 8, p. 15-23, 2001.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de Projetos Ambientais**. Santa Maria: UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Imprensa Universitária, 1997.

RODRIGUES, M. **Introdução ao geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 1990, São Paulo. Anais. São Paulo: USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. p. 01 – 26, 1990.

RUHOFF, A. L. **Modelagem dinâmica de escoamento superficial na Bacia do Arroio Grande, RS**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Florianópolis, SC, INPE - Brasil, 21 a 26 de abril de 2007.

SAATY, T. L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures**. Journal of Mathematical Psychology, v.15, n.3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 287p, 1980.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction. Projection and forecasting**. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA. 251p, 1991.

SAKAMOTO, A. Y. **Contribuições metodológicas e técnico-científicas de pesquisas no Pantanal Sul-Mato-Grossense**. 2012.

SAMARASINGHEA, S. M. J. S., NANDALALB, H. K.; WELIWITIYAC, D. P.; FOWZED, M. K.; HAZARIKAD, J. S. M.; SAMARAKOOND, L. Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: a case study at Kalu-Ganga river, Sri Lanka. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information **Science**, v. XXXVIII, p. 110-115, part 8, Kyoto, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. **O Caráter Transicional do Clima e a Diversidade da Paisagem Natural na Região de Aquidauana**. In: II Semana de Estudos Geográficos: Desenvolvimentos e Geografia. 1993, Aquidauana. **Anais...** UFMS/CEUA, v.1, p.188-128, 1993.

SANT'ANNA NETO, J.L. O Caráter Transicional do Clima e a Diversidade da Paisagem Natural na Região de Aquidauana. In: **II Semana de Estudos Geográficos: Desenvolvimentos e Geografia**. 1993, Aquidauana. Anais... UFMS/CEUA, v.1, p.188-128, 1993.

SANTOS, A. R.; CREPANI, E. **Uso de sensoriamento remoto na conservação do solo no mato grosso do sul.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VIII. 1996, Salvador. Anais, São José dos Campos: INPE, p. 381-384. 1996.

SANTOS A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, Viçosa, MG.** Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, MG, 2001.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada.** Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba-PR, 2001.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática,** São Paulo/SP, Ed. Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, F. A. A. **Alagamento e Inundação Urbana: Modelo Experimental de Avaliação de risco.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém – PA. 2010.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A.M; LOMBARDI NETO, F. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa de Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, p. 05-18, 2005.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M.; NETO, A. H. D.; FONTANA, A. **Caracterização e Classificação de Solos Desenvolvidos de Arenitos da Formação Aquidauana-MS.** R. Bras. Ci. Solo, 34:881-889, 2010.

SCS – **Soil Conservation Service.** National Engineering Handbook, USDA, 1972.

SEDEC - **Secretaria Nacional de Defesa Civil.** 2009. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicações/index.asp>. Acesso em julho de 2009

SEDEC - **Secretaria Nacional de Defesa Civil.** 2009. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/index.asp>. Acesso em julho de 2015

SILVA, A. N. R.et al.. **SIG** - uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes: uma ferramenta 3 D para análise

ambiental, urbana, avaliação multicritério, redes neurais artificiais. São Carlos, SP. Ed. Dos Autores, 2004.

SNDC – **Secretaria Nacional de Defesa Civil. Política Nacional de Defesa Civil.**
Brasília: 2007, 87 p. Disponível em:
<http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/publicacoes/pndc.asp>. Acesso em 24 de julho de 2015.

SOUZA, C.R. de G. 1998. **Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil.** Anais Academia Brasileira Ciências, 70 (2): 353-366, 1998.

SOUZA, C.R. de G. Risco a Inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais - **SIBRADEN**, I, Florianópolis (SC), 27- 30/09/2004, GEDN/UFSC. Anais, p. 231-247 (CD-ROM), 2004.

SPÖRL C.; ROSS J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP**. Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15. p. 39-49, 2004.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

TASSI, R.; ALLASIA, Daniel Gustavo; MELLER, A.; MIRANDA, Talita Caroline; HOLZ, J.; SILVEIRA, André L. L. **Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do Arroio Dilúvio - Porto Alegre/RS.** In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2006.

TRICART, J. - **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TUCCI, C.E.M., org. **Hidrologia. Ciência e Aplicação. Ed. da Universidade - UFRGS / Ed. da Universidade de São Paulo – EDUSP / Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1993.**

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** In: Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vol.4, p. 25 – 33, 1993.

TUCCI, C.E.M. **Estudos hidrológicos-hidrodinâmicos do rio Iguaçu na RMC.** Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral do Paraná. v.2. 1996.

TUCCI, C. E. M. **Controle de enchentes.** In: Hidrologia, Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2ª ed. Vol.4. Abra editora, cap.16. p.621-658, 1997.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 669p. 1998.

TUCCI, C.E.M. e BERTONI, J.C. **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2 eds. Porto Alegre: UFRGS: ABRH. 2001.

TUCCI, C.E.M. **Inundações e drenagem urbana.** Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: ABRH, p. 45-150. 2003.

TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas.** Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: ABRH, 32p. 2003.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento integrado das inundações no Brasil.** Rega – Revista de Gestão de Água na América Latina. Santiago: GWP/South América, v.1, n.1. jan-jun. 2004.

UN-ISDR – **United Nations International Strategy for Disaster Reduction** – Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations. Geneva, Suíça. 2002. Disponível em http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS- **HEC-GeoHMS Geospatial hydrologic modeling extension: User's Manual**, version 5.0, Hydrologic Engineering Center.

VALENTE, A. L. S. Uma Metodologia para determinação de Áreas de Risco, através de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. In: **Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** Salvador, Brasil, INPE, p. 417-420, 14-19 abril 1996.

VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo Soares. Deslizamentos de Encostas. *In*: SANTOS, Rozely Ferreira (Org). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 192 p, 2007.

VIANNA, A. P. P. **Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica associadas a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de áreas inundáveis. Estudo de caso: Município de Itajubá – MG.** Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG –Belo Horizonte. 2000.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** Ed. McGraw-Hill. 1975.

XAVIER, da Silva, Jorge. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro, Lageop, 15 p, 1999.

XAVIER, L. N. R. **Análise da incerteza causada pela representação da precipitação no modelo topmodel.** Rio de Janeiro, 2002. V. 8, 124 p. (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

WEBER, E. HASENACK, H. **O uso do geoprocessamento no suporte a projetos de assentamentos rurais: uma proposta metodológica.** CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 10. Anais. Porto Alegre/RS, 1999.

ZANELLA, Maria Elisa. **Inundações urbanas em Curitiba/PR: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no bairro Cajuru.**Tese de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ZANIRATO, Sílvia Helena; RAMINES, Jane Z.S.; AMICCI, Anie Gracie Noda; RIBEIRO, Zulima Márita; RIBEIRO, Wagner Costa. **Sentidos do risco: interpretações teóricas.** *In*: Revista Bibliográfica de Geografia y Ciências Sociales, n. 785, Universidade de Barcelona, maio de 2008.