



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS – GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ROBERTO CAVALCANTE BARROS

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO IGARAPÉ CARANÃ EM BOA
VISTA, RORAIMA/RR.**

BOA VISTA

2016

ROBERTO CAVALCANTE BARROS

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO IGARAPÉ CARANÃ
EM BOA VISTA, RORAIMA, RR.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPP-GEO), da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Geografia. Linha de pesquisa: Dinâmica da Paisagem Amazônica.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Souza

BOA VISTA

2016

ROBERTO CAVALCANTE BARROS

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO IGARAPÉ CARANÃ EM
BOA VISTA, RORAIMA, RR.**

Dissertação de mestrado apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPP-GEO), da Universidade Federal de Roraima. Área de concentração: Dinâmica da Paisagem Amazônica. Defendida em 31 de agosto de 2016 e avaliada pela seguinte banca:

Dr. Vladimir de Souza – Orientador (UFRR)

Dr. Antônio Tolrino de Rezende Veras (UFRR)

Dr. Carlos Sander (UFRR)

Dr. Fábio Wankler (UFRR)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ser a base de tudo, logo depois à minha mãe Dulce Cavalcante por ter me dedicado parte de sua vida, privilegiando os meus objetivos em relação aos seus.

A minha mãe Dulce Cavalcante por todo apoio incondicional.

A meu Amigo Reginaldo, pela ajuda em momento decisivo.

Ao meu Pai Aelson Fernandes Barros pelo seu incentivo ao longo dessa caminhada.

Ao meu Padrasto que tanto me ajudou financeiramente.

À minha irmã Pâmela pelo seu incentivo, paciência e amizade durante todo o período do curso de Geografia.

Ao professor da UNIR, Vanderlei Maniesi, amigo, e ao mestre Reginaldo Martins, IFRO, pela ajuda na pesquisa.

Ao Professor Vladimir de Souza pela orientação.

A amiga Elizete Celestino Holanda por me dar guarita.

Ao meu amigo irmão Felipe (Pipão) que, gentilmente, realizou a correção do abstract dessa dissertação.

Aos meus amigos Diego (Pai), Imar Costa e Mateus Menezes. Em especial ao Bacharelado em Geologia, Frederick Do Nascimento, pela ajuda nas confecções dos mapas.

Ao meu avô Wilson Cavalcante de Lima que, por vontade de Deus, não está comigo no momento de tanta alegria em minha vida.

Ao Programa de Mestrado PPG-GEO/UFRR pela oportunidade dada.

A CAPES pelo auxílio Financeiro à pesquisa.

RESUMO

O trabalho em apreço busca analisar o grau de fragilidade ambiental para movimento de massa, inundação e erosão, bem como classificar a área de estudo – Bacia do Igarapé Caranã em Boa Vista/RR - em unidades geoambientais por meio de estudos de elementos do meio físico e ocupação espacial da área. Ajustes foram necessários no mapa temático de geologia e nos mapas gerados com a utilização de técnicas integradas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG). O método adotado consiste na aquisição de informações bibliográficas, na elaboração e organização de base de dados, na elaboração dos mapas de fragilidade ambiental para movimento de massa, erosão e inundação e na sua posterior classificação em unidades geoambientais. Os resultados mostram que relativamente à ou tendo em consideração a fragilidade para movimento de massa, a classe de fragilidade ambiental mais representativa foi a baixa (78,67%), seguida da classe muito baixa (18,10%). As classes de fragilidade ambiental alta e muito alta (1,25%) localizadas no quadrante nordeste da área de estudo, constituem porções do terreno com tendência abrupta a modelagem da paisagem. A classe de fragilidade ambiental para inundação apresenta como predominantes a média e a alta, diferentemente da vulnerabilidade erosiva na área do igarapé Caranã, cujas predominâncias são as classes muito baixa e baixa (76%) as quais são seguidas da média e alta (20%) e muito alta (4%). Por fim, cruzando os tipos de fragilidade ambiental, a bacia foi classificada em três classes de unidades geoambientais, quais sejam: fragilidade geoambiental I (60%) que ocupa quase a totalidade da bacia e apresenta média fragilidade a inundação. A unidade de fragilidade geoambiental II (39%), a qual apresenta média e alta tendência a erosão e alta tendência a inundação e, finalmente, a unidade de fragilidade geoambiental III, onde apenas 1% da área estudada apresenta alta fragilidade a movimento de massa, erosão e inundação.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental; Movimentos de massa; Erosão; Inundação.

ABSTRACT

The present work aims to analyse the degree of environmental fragility for mass movement, flooding and erosion, as well as to classify Igarapé do Caranã basin in geoenvironmental unities by studies of environmental elements and spatial occupation of the area. Adjustments were needed in the thematic maps of geology and the maps generated using integrated techniques of remote sensing and geographic information system (GIS). The selected method is separated in acquisition of bibliographic information, elaboration and organization of the database, elaboration of the environmental fragility maps for mass movement, erosion and flooding and geoenvironmental unities. Results show that regarding to mass movement fragility, the more representative environmental fragility class was low (78,67%) followed by very low class (18,10%). High and very high classes of environmental fragility (1,25%) located in the north-east quadrant of the study area, consist in parts of the land with an abrupt trend for landscape modeling. The environmental fragility class for flooding shows medium and high as predominant classes. Regarding to erosive vulnerability of Igarapé Canarã area, the predominant classes are very low and low (76%) followed by medium and high (20%) and very high (4%). Finally, grading the types of environmental fragility, the basin was classified in three classes of geoenvironmental unities where we have Environmental Fragility I (60%) which occupies almost all the basin and presents medium fragility to flooding. Unity Environmental Fragility II (39%) presents medium and high tendency to erosion and high tendency to flooding. The Unity of Environmental Fragility III (1% of study area) presents high fragility to mass movement, erosion and flooding.

Keywords: Environmental Fragility; Mass Movement; Erosion; Flooding.

*Ao meu avô Wilson Cavalcante de Lima (in memoriam),
Minha mãe Dulce Cavalcante, meu pai Aelson Fernandes
Ao meu padrasto e tio Salomão, à minha irmã Elizete Holanda.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	15
Figura 2. Esquema explicando a estrutura do Sistema de Informação Geográfica.	32
Figura 3. Mapa geológico da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	38
Figura 4. Mapa pedológico da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	40
Figura 5. Valores médios anuais de precipitação pluvial, do período de 2006 a 2015, da área de abrangência da Estação Meteorológica de Superfície do INMET, localizada no Aeroporto Internacional de Boa Vista.	48
Figura 6. Mapa de Declividade da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	52
Figura 7. Mapa hipsométrico da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	53
Figura 8. Mapa de uso e Ocupação do solo na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	56
Figura 9. Mapa de Fragilidade ambiental/Movimento de massa na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista, (RR).	58
Figura 10. Mapa de fragilidade ambiental/Inundação na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR). ...	61
Figura 11. Mapa de Fragilidade Ambiental/inundação alta na bacia do igarapé Caranã (RR).	62
Figura 12. Mapa de fragilidade ambiental a erosão laminar a perda de solo na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	64
Figura 13. Mapa de unidades geoambientais para a bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.Fatores que atuam na deflagração dos movimentos de massa.....	22
Tabela 2.Informações utilizadas na organização e elaboração da base cartográfica.....	43
Tabela 3.Índice de fragilidade ambiental para área de estudo em conformidade com Rosa et. Al (2008), de Crepani et al. (1996), e Moro et al. (2011).	44
Tabela 4. Índices de fragilidade ambiental e pesos das classes das unidades ambientais.	47
Tabela 5. Índices de fragilidade ambiental para o tema precipitação.....	49
Tabela 6. Índices de fragilidade ambiental para o tema geologia.	50
Tabela 7. Índices de fragilidade ambiental para o tema declividade.....	51
Tabela 8. Índices de fragilidade ambiental para o tema pedologia.	54
Tabela 9. Distribuição das diferentes categorias de uso e cobertura do solo, em 2016, na bacia do igarapé dos Caranã, Boa Vista/RR.....	55
Tabela 10. Índices de fragilidade para o tema uso e ocupação do solo.....	55
Tabela 11. Índices de fragilidade ambiental e intervalos de classes. Adaptado de Moro et al. (2011).	57
Tabela 12. Distribuição das classes de fragilidade ambiental na bacia do igarapé Caranã.	57
Tabela 13. Distribuição das classes de fragilidade ambiental para inundação na bacia do Igarapé Caranã	60
Tabela 14. Valores de fragilidade ambiental para erosão adaptado de Crepani et al (1996).....	63
Tabela 15.Valores para unidades geoambientais adaptado.	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CPRM - Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

GIS - Geographic Information System.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite (Satélite de Sensoriamento Remoto).

LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico.

MMA - Ministério do Meio Ambiente.

SIG - Sistema de Informação Geográfica.

SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia.

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Geográficas.

UC - Unidade de Conservação.

UFRR – Universidade Federal de Roraima

ZSEE - Zoneamento Socioeconômico e Ecológico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. BACIAS URBANAS DE BOA VISTA.....	16
2.2. OCUPAÇÃO DA BACIA DO IGARAPÉ CARANÃ.....	17
2.3. FRAGILIDADE AMBIENTAL	18
2.4. MOVIMENTOS DE MASSA.....	19
2.5. EROSÃO.....	23
2.6. INUNDAÇÕES	27
2.7. O USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL	29
2.7.1. Sistema de Informação Geográfica.....	31
2.7.2. Sensoriamento remoto	33
3. OBJETIVOS	35
3.1. OBJETIVO GERAL:	35
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	35
4. CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO	36
4.1. CLIMA	36
4.2. GEOLOGIA	36
4.3. PEDOLOGIA	39
4.4. GEOMORFOLOGIA	41
4.5. VEGETAÇÃO	41
5. MATERIAS E MÉTODOS	42
5.1. LEVANTAMENTO DE PESQUISA DOCUMENTAL.....	42
5.2. ELABORAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS CARTOGRÁFICOS.....	42
5.3. ELABORAÇÃO DO MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	43
5.3.1. A identificação das unidades homogêneas da paisagem	44
5.3.2. Cálculo do índice de fragilidade ambiental a Movimento de Massa	45
5.3.3. Cálculo do índice de fragilidade ambiental a inundação	46

5.3.4. Cálculo do índice de vulnerabilidade ambiental a erosão de solo.....	46
5.3.5. Cálculo do índice e elaboração do mapa de fragilidade das unidades geoambientais	47
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6.1. PRECIPITAÇÃO	48
6.2. GEOLOGIA	50
6.3. DECLIVIDADE.....	51
6.4. PEDOLOGIA.....	54
6.5. USO E COBERTURA DO SOLO	55
6.6. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL A MOVIMENTO DE MASSA.....	57
6.7. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL A INUNDAÇÃO.....	60
6.8. MAPA DE VULNERABILIDADE A EROSÃO LAMINAR A PERDA DE SOLOS.....	63
6.9. MAPA DE FRAGILIDADE DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

A relação entre o ser humano e o espaço geográfico têm evoluído ao longo da história. Tal relação quase sempre é marcada por processos de ocupação acelerados e sem, ou com muito pouco, planejamento. As consequências desta antropização cada vez mais acelerada, passam pela fragilização dos ambientes à desastres naturais. Os desastres naturais, por sua vez, podem ser provocados por fenômenos como inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões e tempestades. Todavia, os processos antrópicos tendem a tornar tais processos mais intensos, bem como criar situações que, sem a interferência humana, não se configurariam em ambientes com riscos ambientais.

Historicamente, os desastres que mais afetam o Brasil são as inundações e movimentos de massa, gerando vítimas fatais. Portanto, é de importância significativa investigar as condicionantes dos deslizamentos/escorregamento e de inundação, além da perda de solo, que se não medicada causa uma série de problemas que vão desde a esterilização dos solos, passando pela formação de cicatrizes e voçorocas, até o assoreamento dos rios que diretamente contribui para o aumento das áreas sujeitas a inundação.

Neste sentido, A urbanização tem afetado o equilíbrio entre os componentes do meio ecológico, principalmente porque o funcionamento do ciclo hidrológico também tem sido afetado, aumentando, dentre outros problemas ambientais, os danos provocados nas encostas, principalmente os relacionados aos escorregamentos de massas. Esta situação tem contribuído para expansão de áreas com fragilidade ambiental em estado alarmante (CHRISTOFOLETTI, 1995).

Diante desta problemática e com objetivo de conhecer e minimizar os impactos ao meio ecológico, o estudo das dinâmicas ambientais, almejando uma melhor conservação e uso dos recursos naturais, proliferam pós década de 1970, de modo que diversos métodos e modelos de predição as consequências decorrentes do uso inadequado do solo foram desenvolvidos. Dentre estes estudos destacam-se a compreensão da fragilidade ambiental que se configura como um instrumento de grande importância na elaboração do planejamento do espaço geográfico.

O município de Boa Vista que apresenta um marcante processo de ocupação, principalmente pelo seu crescimento desordenado, apesar de ser considerada uma cidade planejada. Desta forma, os seus vários ciclos econômicos culminam em ocupações irregulares e em alguns casos com riscos ambientais preocupantes. As estratégias adotadas para a promoção do desenvolvimento no meio urbano de Boa Vista que deveriam ser integradas,

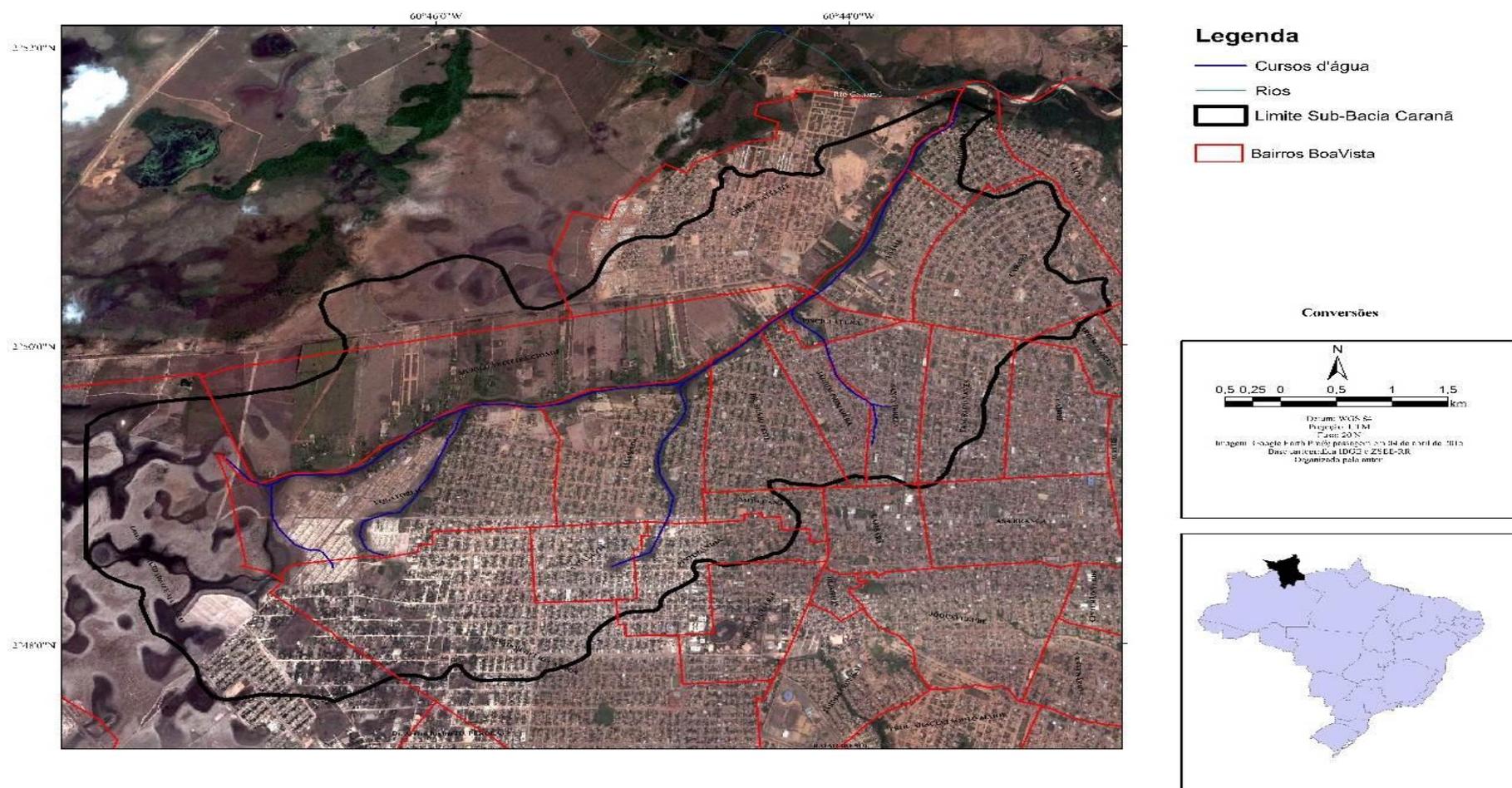
uma vez que, no processo de produção do espaço urbano na década de 80 e 90, século XX e, mais recentemente no início do século XXI, não foi assistida de maneira sustentável pelos gestores públicos. Pelo contrário, as migrações foram dirigidas de maneira desordenada por parte dos governantes de tempos passados de Roraima, os quais promoviam a mobilidade de pessoas de outros estados brasileiros para este, com a promessa de trabalho e moradia própria, sendo comum a doação de lotes em Áreas de Proteção Permanentes (APP's). Estes casos também podem ser observados na área do Igarapé Caranã.

Portanto, a presente pesquisa buscou compreender os processos que levaram ao aumento do grau da fragilidade ambiental na área estudada. A partir do relacionamento de variáveis geoespaciais em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Assim, foi possível a elaboração de um diagnóstico da fragilidade ambiental na Bacia do Igarapé urbano, em Boa Vista Roraima, levando-se em consideração as propostas metodológicas de Crepani et al. (1996), Rosa et al (2008) e Moro et al. (2011).

O presente trabalho foi estruturado da seguinte maneira: no primeiro capítulo é apresentado o trabalho, o segundo capítulo trata-se do referencial teórico da pesquisa em questão, bem como a contextualização ambiental do Igarapé Caranã, uma revisão bibliográfica sobre bacias hidrográficas, fragilidade ambiental, movimentos de massa, inundação, erosão e geotecnologias. Na sequência, onde está inserido o terceiro capítulo, são discutidos os objetivos da dissertação. No Quarto capítulo, é apresentada a proposta metodológica utilizada na pesquisa, dentre as quais se destacam aquisição de informação bibliográfica, e seu entorno, elaboração e organização da base de dados cartográficos, elaboração do mapa de fragilidade ambiental para movimentos de massa, inundação e erosão, classificação em unidades geoambientais e atribuição dos pesos aos níveis de fragilidade ambiental. No Quinto capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir da pesquisa bibliográfica, trabalho de campo e trabalho de escritório. Na sequência temos as considerações finais sobre a pesquisa e referida área de estudo.

A área de estudo está situada na porção oeste da cidade de Boa Vista, Roraima, abrangendo a bacia hidrográfica do rio Cauamé. A nascente do igarapé Caranã está compreendida entre as coordenadas 02°47'57" N e -60°47'21 W, situada em uma região de chácaras e fazendas próximas a rodovia RR-205, que liga a cidade de Boa Vista ao município de Alto Alegre. A bacia hidrográfica do igarapé Caranã faz parte da bacia do rio Cauamé e possui uma extensão aproximada de 9,5km., como mostra a figura 1.

Figura 1. Mapa de Localização da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2015.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. BACIAS URBANAS DE BOA VISTA

O município de Boa Vista/ RR possui inúmeras bacias hidrográficas. A área urbana da cidade é ocupada por seis bacias hidrográficas urbanas: Caranã, Caxangá, Frasco, Pricumã, Grande e Mirandinha. A bacia do igarapé grande é composta por dois grandes igarapés são eles: o grande e o paca.

As bacias hidrográficas urbanas de Boa vista possuem certas peculiaridades na qual podemos aqui ressaltar. Em primeiro lugar nota-se que as bacias urbanas da cidade estão localizadas entre dois rios, o Cauamé e o rio Branco. A segunda característica importante destas bacias hidrográficas, é que as mesmas estão localizadas em áreas planas, com a presença de centenas de pequenas lagoas. Estas lagoas têm papel vital na manutenção destas bacias hidrográficas. O Maior Igarapé em extensão é o Caranã com cerca de 9,5 quilômetros, que passa por vários bairros da zona oeste da cidade.

Entende-se por Igarapé urbano, aquele que totalmente inserido na área urbana da nascente a foz.

No período chuvoso a lagoa retém essa água, que fica armazenada e é liberada lentamente em direção aos canais dos igarapés, na forma de centenas de nascentes, conhecidas como olho d'água. Já a impermeabilização do solo dificulta a infiltração da água e provoca o rápido alagamento das ruas e avenidas em época de chuva. Isso acontece em grandes centros, como São Paulo e Rio Janeiro. A enchente é a resposta do que se alterou na natureza. A intervenção do homem é a maior agressão, como a canalização dos igarapés. Isso causa muitos problemas, pois retira toda a mata ciliar e o igarapé vira um esgoto, pois retifica o canal e a águas correm mais rápido. Isso prejudica a dinâmica fluvial do igarapé, extinguindo o habitat dos peixes que estavam na área. Os peixes são predadores naturais de larvas de mosquitos, como da dengue e malária. A canalização ainda acaba com a flora e a fauna.

2.2. OCUPAÇÃO DA BACIA DO IGARAPÉ CARANÃ

A história da ocupação da área de estudo remete-se ao final do século XX. O nome do igarapé é homenagem a uma pequena palmeira muito comum na região denominada Caranã (*Mauritiella aculeata*). A bacia hidrográfica do Caranã até o final da década de 1970, era praticamente desabitada, sendo ocupada por fazendas e chácaras.

O processo de ocupação da Bacia do Igarapé Caranã, está incluída no processo de ocupação e urbanização da cidade de Boa Vista. Este processo se intensificou com a elevação do território federal de Roraima para estado, que ocorreu em 1988. Desta forma, o desenvolvimento urbano e suas políticas passam a ser um fator condicionante a planejamentos estratégicos de ocupação.

Nesta perspectiva Cohre (2006) elucida que na passagem do território federal de Roraima para Estado. Neste ocorreu uma inversão entre a população urbana e a rural. Na década de 90, o índice de crescimento urbano de Boa Vista chegou a 4% ao ano e a taxa de urbanização passou de 78,4% para 98,27% entre 1991 a 2000, crescimento que praticamente foi triplicada na área urbana.

No entanto, segundo Souza e Silva (2006), no início da década de 1990, surgiram os primeiros grandes projetos de habitação para famílias de migrantes trazidas para o estado. Assim, surgiram vários bairros na área, como foi o caso do conjunto Pintolândia. Deu-se, assim, um grande crescimento demográfico da área e conseqüente crescimento da ocupação das áreas de APP's.

A população de Boa Vista quadruplicou em vinte anos segundo dados do IBGE (2000), este grande crescimento populacional se procedeu fortemente nas regiões Oeste e Sudoeste da cidade, principalmente na forma de ocupações irregulares e de loteamentos públicos. Deste modo, surgiram novos bairros como Santa Tereza, Silvio Leite, Jardim Equatorial e Piscicultura, entre outros. Os loteamentos públicos que tiveram papel importante na ocupação e destruição desta área densamente ocupada por lagos. Entre estes cabe salientar o loteamento público conjunto cidadão que foi construído em áreas de nascente do Igarapé. No entanto, este não seria o último, na bacia foi construído com recursos federais em parceria com o governo estadual o conjunto habitacional conhecido como “Minha Casa Minha Vida” que construiu 1000 casas próximas a área de APP's do igarapé Caranã.

As consequências deste quadro de urbanização rápida e intensa sem um planejamento adequado foi o surgimento de muitos bairros, ocupação em áreas de proteção ambiental, ocupação irregular dos terrenos e, conseqüentemente, uma enorme demanda de serviços públicos, como: escolas, hospitais, transporte público, entre outros. Todos esses fatores, portanto, alteraram a organização socioespacial da cidade de Boa Vista que, devido ao grande contingente de habitantes os quais não tinham onde morar, deslocavam-se para as regiões mais distantes e ocupavam de forma irregular as áreas próximas a igarapés e lagos da região. Outro aspecto importante na ocupação dos igarapés é a limitação imposta pelos rios Cauamé e Branco no qual rodeiam a cidade. Partindo desse pressuposto, a expansão urbana continuou a crescer na direção oeste e com isso nota-se a presença de algumas residências, chácaras e outros artefatos urbanos ao longo das nascentes e margens nos igarapés ali existentes, como é o caso do igarapé Caranã, em uma Área de Proteção Permanente.

As áreas impróprias para construções são locais considerados de risco para moradia por estarem sujeitas a eventos naturais ou induzidos, como por exemplo, margens de rios e igarapés sujeitos a inundações, alagações e assoreamento. Diante do pressuposto os impactos ambientais que sofrem os igarapés urbanos tornaram um dos focos principais na geomorfologia e seu estudo é feito por monitoramento da sua evolução e sua situação dentro da bacia hidrográfica (GUERRA, 2011). De acordo com Peloggia (1998) a busca por espaço disponíveis pelas populações (lotes, favelas) leva a mudança da geometria das encostas devido a utilização de técnicas para utilização oriundas da grande espessura do regolito e suas coberturas.

2.3. FRAGILIDADE AMBIENTAL

O estudo da fragilidade ambiental pode ser realizado considerando as unidades geodinâmicas e devem ser estabelecidas à luz da ecodinâmica, isto é, a partir da avaliação, compartimentação e classificação dos ambientes, considerando a intensidade, frequência e a interação dos processos evolutivos, sendo classificadas em unidades estáveis, unidades instáveis e unidades intermediárias Tricart (1977).

As unidades estáveis: possuem na pedogênese o processo de maior expressão derivada da fitoestasia. Nestas unidades, o modelado evolui lentamente, muitas vezes de maneira

imperceptível em função dos processos mecânicos atuarem pouco, sendo a cobertura vegetal densa e a dissecação moderada.

Já as unidades instáveis: são aquelas em que a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural e fator determinante do sistema natural, na qual outros elementos estão subordinados. Estes fenômenos são desencadeados por tectonismo, vulcanismo ou ação humana, especialmente com a retirada da cobertura vegetal. Nestas unidades, as condições bioclimáticas são agressivas, com ocorrência de fortes variações de ventos e chuvas; o relevo apresenta dissecação gradual implicando em solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa e os fundos de vales são sujeitos a inundações com intensa geodinâmica interna.

Por fim, as unidades intermediárias: são caracterizadas na interferência permanente da morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre o mesmo espaço. Os meios integrantes são delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, podendo tornar-se instáveis.

Segundo Ross (1994), o mapeamento da fragilidade ambiental de um determinado local permite conhecer as potencialidades do meio ambiente, assim como permite relacionar suas potencialidades e suas restrições naturais, evitando, assim, que a ação antrópica provoque alterações irreversíveis a este ambiente. Trata-se, portanto, de uma metodologia baseada nas funcionalidades intrínsecas entre os componentes físicos e bióticos da natureza. Esse método exige a compreensão da geomorfologia, pedologia, geologia, clima, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal das áreas estudadas. Posteriormente, esses dados são cruzados de forma integrada a fim de gerar um produto sintetizado que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características.

2.4. MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa têm se apresentado constantemente como objetos de estudo, não somente pela influência que estes possuem nas formas de relevo, mas também pelo aspecto econômico, uma vez que os desmoronamentos de taludes têm causando, além de grandes desastres naturais, grandes prejuízos financeiros. Atualmente, geólogos, geógrafos e engenheiros especializados são os profissionais que estudam e realizam contribuições sobre o assunto, buscando o maior conhecimento e tentando alertar o poder público para a não ocorrência desses desastres.

Segundo Selby (1982), o movimento de massa é o movimento do solo, do material rochoso ou da vegetação encosta abaixo sob a influência da gravidade ou pela contribuição de outro meio, como: água, gelo, redução da resistência dos materiais das encostas e perda da fluidez do solo.

Os movimentos de massa iniciam a partir do deslocamento coletivo do solo e de fragmentos rochosos em função da gravidade, em épocas de chuvas fortes, escorregadas por saturação extrema, sendo tal processo acelerado pela ação humana (SILVA et al., 2003).

Fernandes e Amaral (2003) classificam os tipos de movimentos de massa, sendo essas tipologias baseados na cinemática do movimento (relação entre massa movimentada e o terreno), no tipo do material (solo, rocha ou vegetação) e na geometria (tamanho e forma das massas mobilizadas). Essas definições podem ser agrupadas em quatro grandes grupos, são eles: rastejos, queda de blocos, corridas e os escorregamentos: as quedas de blocos são movimentos rápidos de blocos de rochas que caem pela ação da gravidade, entretanto, não encontram uma superfície de deslizamentos, ou seja, deslizam em queda livre (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Os rastejos são movimentos contínuos e lentos dos materiais da encosta e envolvem de média a grande parte de solo. Na superfície, os rastejos apresentam mudanças na direção de material arrastando desde árvores, postes, até casas e prédios (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

As corridas são formas bem rápidas de escoamento basicamente hidrodinâmico ocorridas entre a perda de partículas do solo em virtude do excesso de água. Os movimentos em formas de corridas são gerados a partir da junção de matérias de grande porte, como: o solo, a rocha e as árvores que ao se encontrarem formam uma massa de grande viscosidade e densidade. Essa massa é deslocada podendo atingir grandes distâncias com extrema velocidade, mesmo em áreas pouco inclinadas e causar estragos maiores que os outros tipos de movimento de massa (LOPES, 2006).

Os escorregamentos são movimentos rápidos de porções de terreno, com volumes indefinidos, de curta duração e que se deslocam para baixo ou para fora do talude ou da vertente sob ação da gravidade (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). Podem ser classificados em escorregamentos planares ou translacionais, escorregamento rotacionais ou circulares e escorregamento em cunha (DIAS; HERRMANN, 2002).

a) Escorregamentos planares ou translacionais: são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa. Caracterizam-se por serem rasos, com o plano de ruptura entre 0,5m a 5 m de profundidade e ocorrem em encostas de baixa a alta declividade, estando a superfície de ruptura associada, geralmente, à heterogeneidade dos solos e das rochas que

constituem as regiões de descontinuidade mecânica ou hidrológica derivadas de processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

b) Escorregamentos rotacionais ou circulares: possuem uma superfície de ruptura curva na qual ocorre o movimento rotacional de um maciço de solo (FERNANDES; AMARAL, 2003). Basicamente a ocorrência destes movimentos está ligada a existência de solos espessos e homogêneos resultante da alteração de rochas. Estes escorregamentos, muitas vezes, são provocados em cortes na base das vertentes para a construção de estradas ou edificações.

c) Escorregamentos em cunha: são feições de escorregamento de ocorrência restrita em regiões onde o relevo é fortemente controlado por estrutura geológica, sendo, também, relacionados aos maciços rochosos alterados onde existam duas estruturas planares desfavoráveis à estabilidade do talude (INFANTI Jr.; FORNASARI FILHO, 1998).

A identificação precisa dos fatores responsáveis pela movimentação é de fundamental importância para adoção de medidas corretivas e preventivas do ponto de vista social e econômico.

Para Guerra e Cunha (2003), os fatores que influenciam os movimentos de massa estão relacionados ao tipo de solo, aos processos erosivos nas vertentes, à cobertura vegetal, à precipitação e ao fator preponderante - a influência do homem no meio ecológico.

Guidicini e Nieble (1976) dividem os condicionantes dos movimentos de massa em três grupos. **a) as causas internas** - que possuem efeito de oscilação térmica e redução dos parâmetros de resistência por intemperismo; **b) as causas externas** - ocorrem quando há mudanças na geometria do sistema, efeitos de vibrações e mudanças naturais na inclinação das camadas; e **c) as causas intermediárias** - as quais têm como características a elevação do nível piezométrico em massas homogêneas, a elevação da coluna da água em descontinuidades, o rebaixamento rápido do lençol freático, a erosão subterrânea retrogressiva e diminuição do efeito, bem como a coesão aparente.

Neste mesmo sentido, Silva et al. (2003) afirmam que os movimentos de massa podem ser deflagrados, como, por exemplo, por chuvas ou em situações geológicas mais específicas também, como por erupção vulcânica, derretimento de geleiras e terremotos. Porém, na maioria dos casos, principalmente nas regiões tropicais, as chuvas abundantes são os principais agentes deflagradores do processo, estando intimamente ligadas à infiltração, porosidade e permeabilidade, causando alterações nas características estruturais da rocha e/ou quebra de resistência do solo (FERNANDES; AMARAL, 2003). Inclui também a

dependência da declividade e morfologia do terreno que pode ocasionar o deslocamento de massa pelas encostas (GUERRA; CUNHA, 2003).

Os eventos deflagradores dos movimentos de massa são conduzidos pelos agentes predisponentes e efetivos (GUIDICINI; NIEBLE, 1976). Os agentes predisponentes são os complexos geológicos, os complexos morfológicos, os complexos climatológico-hidrológico, a gravidade, o calor solar e o tipo de vegetação original. Os agentes efetivos subdividem-se em: preparatórios e imediatos. Os primeiros consistem na pluviosidade, na erosão causada pela água e pelo vento, no congelamento e degelo, na variação de temperatura, na dissolução química, na ação de fontes e mananciais, na oscilação do nível de lagos, marés e do lençol freático, na ação humana e de animais, inclusive o desflorestamento. Já os agentes imediatos são formados por chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento e ação do homem.

Seguindo essa linha de raciocínio, Augusto Filho (1995) agrupou os fatores que deflagram os escorregamentos relacionando os que aumentam as solicitações e os que diminuem a resistência dos terrenos Tabela 1.

Tabela 1. Fatores que atuam na deflagração dos movimentos de massa.

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
AUMENTO DA SOLICITAÇÃO	Remoção da massa (lateral ou de base)	- erosão, escorregamentos. - cortes.
	Sobrecarga	- peso da água de chuva neve, granizo. - acúmulo natural de material (depósitos). - peso de vegetação. - construção de estruturas, aterros. - construção de estruturas, aterros.
	Solicitações dinâmicas	- terremotos, ondas, vulcões. - explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais	- água em trincas, congelamento, material expansivo.
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	Características inerentes ao material	- características geomecânicas do material, tensões.
	Mudanças ou fatores variáveis	- intemperismo → redução na coesão, ângulo de atrito. - elevação do nível d'água.

Fonte: Augusto Filho (1995).

2.5. EROSÃO

A erosão pode ser definida como a remoção das partículas do intemperismo, oriundo do desgaste das rochas e solo e pode ser provocada por interferências em um ou mais fatores que podem ser naturais (erosão geológica ou natural), representado pelo meio físico por meio do clima, tipo rochoso, relevo, vegetação ou fatores antrópicos (erosão acelerada) referenciando formas de uso e ocupação do solo. Ambos os processos são resultantes da interposição dos fatores ambientais em desequilíbrio. Por conseguinte, de acordo com Back (1997) a adaptação do sistema ocorre atingindo um novo estado de equilíbrio, resultando em feições erosivas. A erosão natural ou geológica, como parte integrante na evolução da paisagem, está associada aos processos de intemperismo responsáveis tanto pela alteração das rochas expostas como pela formação do solo ao longo do tempo geológico.

A cobertura vegetal é de vital importância para manutenção do estado de equilíbrio e no caso de qualquer alteração a tendência é ocorrer a erosão acelerada. Quando o processo erosivo é mais veloz é mais veloz que a formação do solo, havendo uma ruptura no equilíbrio natural do meio, ocorre a erosão acelerada ou antrópica, caso tenha sido causada pela ação humana. A erosão natural ou geológica dá lugar a erosão acelerada como resposta do meio em busca de novas condições de estabilidade em detrimento da substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal, a qual não propicia a proteção eficiente contra erosão, dificultando o estabelecimento do processo pedogenético que ia recompor a camada erodida (GUERRA; CUNHA, 2006).

Os Processos erosivos se iniciam quando forças dos agentes de erosão, como a chuva causam desagregação das rochas expostas e solos ocorrendo também transporte em um processo denominado de erosividade. A capacidade de erosão causada pelas chuvas é calculada pela proporção segundo a carga da energia da chuva.

A chuva como representante do agente erosivo água é responsável pelo escoamento superficial, este ocorre quando a capacidade de armazenamento de água no solo é saturada durante um evento chuvoso, e proporciona a ocorrência e o transporte de água na superfície terrestre (GUERRA, 2005). Essa parcela de água de precipitação escoar e é responsável pelas alterações morfogenéticas de caráter erosivo.

Ao movimentar-se pelo talude, a água participa de três tipos de escoamento: escoamento em filetes (1), através de uma rede de pequenos canais temporários, típicos em declives baixos; escoamento laminar (2), onde após o aumento da chuva a rede de pequenos

canais não suporta o volume de água e transborda gerando uma lamina de água que pode chegar a 10 cm; (3) escoamento concentrado, na qual ocorre um aumento progressivo do volume de água, o escoamento laminar passa a ser concentrado, nessa situação, registra-se uma hierarquização e turbilhamento do escoamento do escoamento, com considerável carga sólida o que remete em um intenso poder erosivo. Nos trechos finais desse escoamento concentrado, o fluxo encaixa-se nas depressões naturais do terreno, como ruas, trilhas, carregando materiais como carga sólida, podendo formar sulcos, ravinas e voçorocas (OLIVEIRA, 2005).

As variações que ocorrem nas taxas de erosão em diversos locais, muitas vezes são determinadas pelos fatores controladores do sistema local (clima, geologia, relevo, solos, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo), A interação e combinação desses fatores determinam as taxas de erosão maior ou menor de locais variados. A intervenção do homem pode alterar esses fatores, e conseqüentemente, acelerar ou retardar os processos erosivos. Dessa forma, devem se levar em consideração, múltiplas variáveis para compreender o processo (GUERRA; CUNHA, 2006).

A erosão laminar atua nas camadas delgadas do solo através do escoamento superficial que se distribui pelo talude de forma diversa. Esse tipo erosivo ocorre na maioria das vezes sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de armazenamento de água no solo e nas suas depressões saturam, o filete de água então toma o caminho de menor resistência, concentrado em pequenas depressões e ganhando velocidade à medida que a lâmina de água e a declividade do local aumentam, nesse caso a chuva erode sem causar ravinamento ou voçorocas (GUERRA, 2005). Esse tipo de erosão pode ser considerado como um mecanismo de escape de suma importância do talude além de fonte de sedimentos para áreas situadas a jusante. A quantidade de material transportado depende da capacidade de transporte da enxurrada que é influenciada pela granulometria, densidade e forma das partículas do sol, e pelo efeito de retardamento da vegetação e de outras obstruções.

Através de pequenas irregularidades na declividade do terreno, a enxurrada concentra-se em alguns pontos do terreno, ao atingir volume e velocidade suficientes, começa a formar riscos mais ou menos profundos, dando início a erosão em sulcos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). No caso da erosão por ravinamento, esta ocorre a partir da remoção de solo pela água por canais visíveis ou canaletas muito pequenas, mas bem definida, onde há concentração do fluxo sobre o solo (ARAÚJO et al., 2007).

As ravinas são muitas vezes características efêmeras nas encostas e quase sempre são iniciadas a uma distância crítica do topo da encosta onde o escoamento superficial torna-se

canalizado. Elas podem ser formadas próximas a base das encostas, onde uma pequena incisão recua em direção ao topo da encosta (GUERRA, 2005), mas são as condições locais onde o processo se estabelece é que determinam onde as ravinas se iniciam (DE PLOEY, 1983).

Os sucros e as ravinas formados na superfície de encosta com vegetação relativamente degradada, ou no interior de voçorocas, indicam as rotas de organização do escoamento superficial concentrado (OLIVEIRA, 2005). Na formação das ravinas, as condições físico-químicas dos solos são de grande importância. Nos solos mais argilosos, há uma maior dificuldade de se formarem ravinas, enquanto nos solos mais arenosos elas se formam com mais facilidade. Os tipos de práticas de cultivo também influenciam no grau de dificuldade na implantação desses processos erosivos. Resultados obtidos por Robinson e Naghizadeh (1992) apontaram diferenças de até dez vezes superiores em termos de erosão, em relação aos campos cultivados com métodos tradicionais, enquanto que nos campos plantados com sistemas de cultivos mais modernos, praticamente não houve erosão.

Desta maneira, o desmatamento e o uso agrícola do solo podem acelerar os processos de formação de sulcos e ravinas. Esses processos se agravam mais onde ocorrem chuvas concentradas em períodos em que os solos estão desprotegidos de cobertura vegetal e em locais com características de alta produção de escoamento superficial e camada superficial do solo solta (ARAÚJO et al., 2007; GUERRA, 2005).

Uma vez estabelecidas em uma encosta, as ravinas tendem a evoluir através de bifurcações que configuram pontos de rupturas. As gotas de chuvas aumentam ainda mais a capacidade de transporte de um fluxo de água dentro das ravinas através da remoção de sedimentos, nas porções situadas entre as próprias ravinas, assim as ravinas podem evoluir e se conectar com processos erosivos de maiores proporções, que são as voçorocas (GUERRA, 2005).

O termo boçoroca deriva do tupi-guarani IBI-ÇOROC e corresponde a terra rasgada ou rasgão no solo. Dependendo da região onde ocorre, atribuem-se outros nomes para o mesmo processo erosivo, tais como: vossoroca, buracão, grotta, grotão, desbarrancado, botoroca, soroca, cavão, barroca (Portugal), lavaka (República Malgaxe) e gully erosion (países da língua inglesa) (RODRIGUES, 1982).

As voçorocas são procedentes das ravinas conforme mencionam Guerra (2005), Rodrigues (1982) e Araújo et al. (2007). A origem dessa forma de erosão é ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam no mesmo sulco, que se amplia pelo deslocamento de grandes massas de solo, formando grandes cavidades em extensão e em

profundidade. Esse tipo de erosão surge em qualquer terreno, mas geralmente se instala em terrenos de baixa a média declividade, razão pela qual são avistadas somente quando se chega próximo aos seus taludes. Desenvolvem-se tanto em sedimentos como em solos de taludes naturais e artificiais, porém preferencialmente nos sedimentos siltico-arenosos recentes, face à relativa facilidade com que são erodidos (RODRIGUES, 1982).

Dentre as principais características que compõe as voçorocas estão a sua relativa permanência em encostas. Suas características físicas associam-se a presença de paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos, que ao aprofundarem algumas vezes atingem o lençol freático (GUERRA; CUNHA, 2005).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005) as formas de voçorocas variam em função do material que constitui o solo, pois, em sendo os diferentes horizontes do solo de consistência uniforme, as paredes da voçoroca serão relativamente verticais e, se o material for muito friável, estará sujeito a frequentes desmoronamentos. Por outro lado, quando o material do subsolo ou de horizontes mais profundos for mais resistente que o horizonte superficial, as voçorocas tendem a apresentar paredes em forma de “V”.

No que diz respeito à drenagem, as voçorocas podem ser dos tipos desconectadas e conectadas da drenagem. As desconectadas podem ser condicionadas pelas propriedades físicas dos depósitos sedimentares/solos, por características lito-estruturais do substrato geológico e por aspectos topográficos e morfométricos das encostas e cabeceiras de drenagem, além da intervenção direta ou indireta das atividades humanas (SALGADO et al., 1995). Por outro lado, as conectadas a rede de drenagem, desenvolvem-se nos fundos de vale e reentrâncias das cabeceiras de drenagens preenchidos por depósitos aluvio-colúviais relacionados ao evento holocênico de entulhamento generalizado da paisagem, podendo seu desencadeamento ser condicionado por descontinuidades texturais dos depósitos sedimentares (PEIXOTO et al., 1989).

Em geral o índice anual de avanço de uma voçoroca é variável, sendo mais rápido em alguns estágios de seu ciclo de desenvolvimento que em outros. As observações indicam que a velocidade de avanço decresce progressivamente nos estágios finais de desenvolvimento. Os fatores condicionantes, tais como as características dos materiais geológicos, topografia, uso do solo e volume de enxurrada são os que alteram a intensidade de desenvolvimento da voçoroca. Uma mudança de um ou mais desses fatores na cabeceira da voçoroca pode alterar seu índice de avanço (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

As voçorocas podem ser bastante destrutivas em termos de danos a rodovias, aterros e pastagens. São difíceis de serem controladas e retidas. O desgaste contínuo da base da voçoroca leva ao seu aprofundamento e alargamento, enquanto o desgaste das cabeceiras prolonga o canal para áreas ainda não atingidas pela voçoroca (ARAÚJO et al., 2007).

A formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e seu transporte até os rios podem causar assoreamento dos cursos d' água e reservatórios. O assoreamento é consequência da interação de fatores hidrológicos, onde sua maior importância está na distribuição da precipitação, em sequência temos estrutura geológica e condições topográficas (PAIVA, 1998). O acúmulo de lixo nos canais urbanos também levam ao assoreamento provocando transbordamento em épocas de grandes quantidades de chuvas.

A erosão do solo causa a acumulação de sedimentos mais grosseiros nas partes mais baixas da bacia, contudo os sedimentos mais finos são transportados pelas enxurradas, ocasionando problemas nos canais. Córregos, rios.

Práticas agrícolas sem controle, processos de urbanização sem planejamento adequado e principalmente o desmatamento na bacia hidrográfica são fatores determinantes na contribuição da alteração das cargas dos rios naturais.

Outro Fator não menos importante para o assoreamento é a retirada da mata ciliar, que é uma proteção natural ao assoreamento, e sua importância na incorporação dos recursos hídricos está sendo de grande preocupação na sociedade, pois se tratam de uma proteção às laterais dos rios, córregos, reservatórios e lagos urbano. Mas a realidade não é essa, em geral não temos florestas ciliares preservadas o suficiente para proteger as margens dos leitos, o que gera a erosão e o assoreamento dos corpos hídricos.

2.6. INUNDAÇÕES

As atividades antrópicas vêm provocando alterações e impactos no ambiente urbano há muito tempo, existindo uma crescente necessidade de se apresentar soluções e estratégias que minimizem e revertam os efeitos da degradação ambiental e do esgotamento dos recursos naturais que se observam cada vez com mais frequência.

Inundação é definida como um tipo particular de enchente onde a elevação do nível d' água normal atinge grande magnitude, na qual as águas não se limitam a calha principal do rio

extravasando para áreas marginais, habitualmente não ocupada pelas águas (IGCE/DGA, 2004).

Devido ao desenvolvimento urbano sem um planejamento adequado pode provocar impactos que modificam o sistema regional. O impacto principal devido à urbanização sobre um sistema de drenagem é o aumento do pico da vazão de cheia, a antecipação no tempo desta vazão máxima e o aumento do volume do escoamento superficial que pode ter como consequência, inundações que prejudiquem a população do entorno (VENDRAME; LOPES, 2005).

O problema das inundações em áreas urbanas existe em muitas cidades brasileiras e suas causas são tão variadas como assoreamento do leito dos rios, impermeabilização das áreas de infiltração na bacia de drenagem ou fatores climáticos. O homem por sua vez procura combater os efeitos de uma cheia nos rios construindo represas, diques, desviando o curso natural dos rios, etc. Mesmo com todo esse esforço, as inundações continuam acontecendo, causando prejuízos de vários tipos.

O meio mais eficaz para se evitar grandes transtornos é a elaboração de um controle de inundação, regulamentando o uso do solo, limitando a ocupação de áreas inundáveis a usos que não impeçam o armazenamento natural da água pelo solo e, que sofram pequenos danos em caso de inundação. Esse zoneamento pode ser utilizado para promover usos produtivos e menos sujeitos a danos, permitindo a manutenção de áreas de uso social, como áreas livres no centro das cidades, reflorestamento.

A medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: aumento das vazões máximas (em até 7 vezes, LEOPOLD, 1968) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo); e a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial e contaminação de aquíferos; devido a forma desorganizada como a infraestrutura urbana é implantada, tais como: (i) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (ii) redução de seção do escoamento aterros; (iii) deposição e obstrução de rios, canais e condutos de lixos de sedimentos (iiii) projetos e obras de drenagens inadequadas (TUCCI, 1989). Obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos; (iii) projetos e obras de drenagem inadequadas.

Inundações devido à urbanização: as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de

escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamentos, além de aumento significativo de risco de deslizamentos de massa, produção de sedimentos e deterioração da qualidade da água inadequadas.

Existem dois grandes condicionantes principais para as causas das inundações urbanas: os condicionantes naturais, causados pela forma da bacia hidrográfica, topografia da área, tipo de drenagem, ausência da cobertura vegetal no entorno da bacia, permeabilidade do solo na área da bacia urbana e pluviosidade e intenso escoamento superficial. As condicionantes antrópicas como: assoreamento do canal de drenagem, interceptação/estrangulamento de drenagem (barramentos), desmatamento, impermeabilização dos terrenos, lançamento de águas servidas e esgoto na drenagem, águas pluviais rapidamente conduzidas para a drenagem (TUCCI,1989).

2.7. O USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL

O uso das geotecnologias para análise da fragilidade ambiental tem grande vantagem para a pesquisa devido ao fato de, através do uso das tecnologias, haver a facilidade de manipulação de dados com grande confiabilidade nos resultados. O termo geotecnologia não tem um conceito elaborado na literatura, referindo-se, portanto, a tecnologias relacionadas à geoinformação.

Em primeiro lugar, temos que ter em mente que trabalhar com a ciência da geoinformação significa utilizar computadores como instrumentos de representação de dados georreferenciados (CÂMARA et al., 2001).

O estudo do espaço geográfico necessita de uma série de informações detalhadas que podem ser trabalhados de maneira fácil e rápida com a inclusão de novas tecnologias. Fazendo parte deste contexto, as geotecnologias tendem a ocupar um lugar de destaque devido sua funcionalidade. As geotecnologias são novas tecnologias aplicadas às geociências as quais trazem um avanço significativo ao desenvolvimento de pesquisa em ações de planejamento, manejo e gestão relacionados à estrutura do espaço geográfico.

Já o termo geoprocessamento pode ser definido como uma tecnologia interdisciplinar, que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, entidades, dados, metodologias e pessoas para a

coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados (ROCHA, 2000).

A definição de geoprocessamento pode ser exposta também como um conjunto de conceitos, técnicas e métodos, englobando uma série de ferramentas de diversas áreas, relacionadas às ciências de cartografia, meio ambiente, planejamento urbano e instrumentos computacionais, que, unidas, possibilita a busca de soluções para problemas dos mais diferentes campos de trabalho (SILVA; ZAIDAN, 2004).

Na segunda metade do século XX a tecnologia de informática possibilitou o armazenamento e representação de informações em ambiente computacional, com análises combinando diversos mapas e dados, abrindo, desta forma, espaço para o advento do Geoprocessamento (CÂMARA et al., 2004).

O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (CÂMARA et al., 2004).

As ferramentas computacionais para geoprocessamento, denominadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al., 2004).

Para que as informações do mundo real sejam representadas em um Sistema de Informação Geográfica o espaço geográfico é modelado segundo visões complementares relacionadas a meio-campo e geo-objeto.

O Modelo de geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, num dado momento t . O modelo de campos enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam fenômenos a serem observados segundo diferentes distribuições.

O Modelo de geo-objeto trata o geo-objeto como um elemento único que possui atributos não-espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização é exata e o objeto é distinguível de seu entorno. O modelo de objetos representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis.

Portanto devem ser consideradas as informações não espaciais, os chamados objetos não-espaciais que englobam qualquer tipo de informação que não seja georreferenciada e que se queira agregar a um SIG. Os dados a serem trabalhados em geoprocessamento podem ser temáticos, cadastrais e numéricos de terreno, conforme abaixo:

- **Dados temáticos:** descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa. Desta maneira os mapas temáticos gerados mostram uma região geográfica em polígonos segundo valores relativos a um tema qualquer.

- **Dados Cadastrais:** distingue-se do temático, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Desta maneira os mapas cadastrais gerados apresentam objetos identificáveis, utilizando uma representação topológica (CÂMARA et al., 1996).

- **Modelos Numéricos de Terreno:** é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço, cada ponto geográfico é associado a um valor numérico.

Os dados estão associados a algum tipo de representação. Quando a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível sua representação é vetorial, desta maneira qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas; pontos, linhas, áreas ou polígonos. A representação matricial consiste no uso de uma malha quadricular regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado (CÂMARA et al., 2004).

2.7.1. Sistema de Informação Geográfica

O SIG teve sua origem no Canadá, em 1964. Sua essência está baseada nas operações de consulta e manipulação de dados geográficos. Além disso, a aquisição dessas informações representa propriedades significativas da superfície da Terra, uma parte importante da atividade das sociedades organizadas.

Um sistema de informação geográfica é uma ferramenta de funções e aplicações bastantes complexas resultantes, entre outros fatores, da evolução de hardware e software que conseguem resolver problemas de quantificação de dados de maneira rápida e eficaz. Para o funcionamento de um SIG, faz-se necessário, além de um computador, a existência de uma base de dados georreferenciados, que são aqueles tipos de dados ligados a um sistema conhecido de coordenadas.

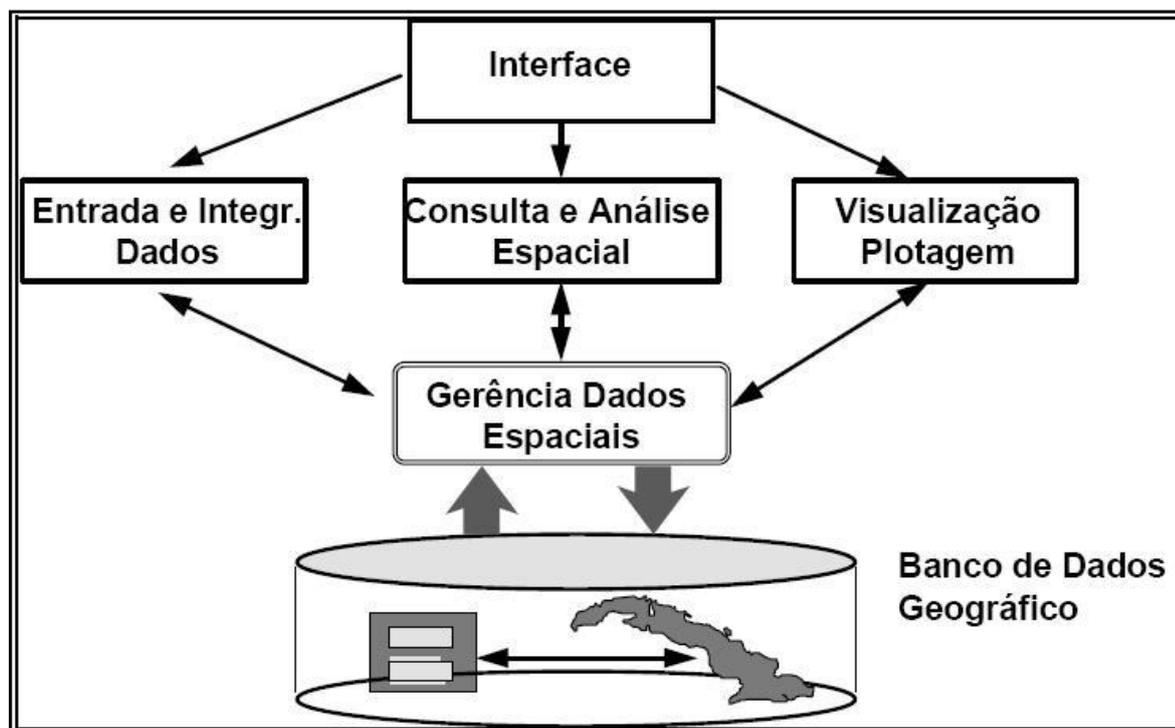
Segundo Fitz (2008), um SIG consiste em um conjunto de tecnologias que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagem e a visualização de dados georreferenciados; e apresenta as funções básicas de: aquisição e edição de dados, gerenciamento de banco de dados, análise geográfica de dados e representação de dados. A aquisição de dados é feita por aquisição direta e em meio digital de dados alfanuméricos. A

edição de dados pode ser realizada tanto em arquivo alfanumérico quanto em arquivos gráficos, e é entendida como a maneira pela qual o sistema pode adicionar, suprimir ou substituir dados nele contidos.

O gerenciamento dos dados espaciais é revestido de maior importância do que em sistemas convencionais devido à complexidade dos objetos geográficos, dos tipos de consultas efetuadas e do enorme volume e complexidade dos dados envolvidos (COUTINHO, 2010).

Em geral, os produtos gerados por um SIG vinculam-se ao espaço físico, podendo, entretanto, trabalhar fenômenos climáticos, humanos, sociais e econômicos. A partir desses espaços mapeados e trabalhados pelo SIG (Figura 2), pode-se conhecer melhor uma região, possibilitando, assim, ferramentas para tomadas de decisões.

Figura 2. Esquema explicando a estrutura do Sistema de Informação Geográfica.



Fonte: Câmara et.al (2004).

2.7.2. Sensoriamento remoto

O termo sensoriamento remoto é definido como o conjunto de técnicas para a obtenção de dados sem que haja o contato físico com o objeto, pois o contato é feito pela radiação eletromagnética, o qual é coletado e detectado por instrumentos conhecidos por sensores remotos. (FITZ, 2008).

Para Lillesand e Kiefer (1994), entretanto, é a ciência e a arte para obter informações sobre um alvo ou área através de análises obtidas por um aparelho que não esteja em contato com o objeto. Para Barrets e Curtis (1992) é a ciência de observação à distância. É uma das geotecnologias utilizadas para a obtenção de dados, imagens, gráficos e tabelas sobre determinado alvo. Os sensores são resultados da evolução da ciência e da tecnologia espacial, e sua história de utilização está intimamente ligada ao surgimento da fotografia aérea. Tal fato se divide em duas partes: a primeira entre 1860- 1960 e a segunda de 1960 até os dias atuais, a qual é baseada na multiplicidade de sistemas sensores.

A radiação eletromagnética (REM), que se propaga em formas de ondas eletromagnéticas com velocidade da luz (300.000 Km por segundo) é medida em frequência (Hertz), e comprimento de onda (em unidade de metro). A frequência de onda é o número de vezes que uma onda se repete por unidade de tempo. O comprimento de onda é a distância entre dois picos de ondas sucessivas, assim, quanto mais distantes, maior é o comprimento de onda e, quanto menos distantes, menor será o comprimento de onda. A informação é transferida do objeto ao sensor. A REM está representada no espectro eletromagnético por regiões ou faixas segundo o comprimento de onda e frequência. Funciona basicamente partindo do pressuposto de que os objetos da superfície terrestre - como a vegetação, a água e o solo - refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em diferentes bandas as quais variam com o comprimento de onda, de acordo com suas características bio-físico-química. Os sensores instalados em satélites, aeronaves e mesmo na terra são resultados da evolução da ciência e tecnologia espacial. Esses sensores são equipamentos que captam e registram a reflectância espectral que é a proporção entre o fluxo da radiação eletromagnética incidente na superfície e o fluxo refletido. O sensoriamento remoto se divide em sensoriamento remoto óptico, sensoriamento remoto passivo ou reflexivo - o qual detém duas fontes principais: o Sol e a própria terra - e sensoriamento remoto ativo, que tem o radar como fonte artificial.

Alguns argumentos que podem ser utilizados para justificar a análise com base na observação do espaço, por meio da utilização de imagens de satélite, podem ser retirados de

trabalhos das mais diversas tendências dentro da Geografia. Podemos destacar os trabalhos relacionados ao espaço urbano, de Lefebvre (1974), Soja (1993) e Santos (1998).

Os sistemas de sensoriamento remoto oferecem dados consistentes da superfície da terra e possuem diversas aplicações, dentre as quais:

- Urbanas (inferência demográfica, planejamento urbano, cadastro territorial);
- Geológicas: petróleo, gás natural, depósitos minerais;
- Cartográficas (mapeamento topográfico, mapeamento temático, atualização de terra);
- Hidrológicas (mapeamento de áreas afetadas por inundação, avaliação de consumo de água por irrigação);
- Agrícolas: condições das culturas, previsão de safras e erosão do solo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL:

Analisar o grau de fragilidade ambiental para movimento de massa, inundação e erosão, bem como classificar em unidades geoambientais, na Bacia do Igarapé do Caranã, em Boa Vista, por meio de estudos de elementos do meio físico e ocupação espacial da área.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a). Identificar as áreas vulneráveis a deslizamento na bacia urbana do igarapé Caranã;
- b). Mapear as áreas em vulnerabilidade a erosão na Bacia do Igarapé Caranã;
- c). Caracterizar as áreas frágeis a ocorrência de inundação na bacia urbana do igarapé Caranã.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. CLIMA

A área de estudo está incluída na zona climática "A" (tropical chuvoso), do subtipo "AW" segundo a classificação de Köppen. Esse tipo climático apresenta elevadas médias térmicas e pluviométricas. Os maiores índices de precipitação pluviométricos ocorrem nos meses de maio a julho. O regime pluviométrico constata uma precipitação média anual de 1600 mm, com período chuvoso bastante definido que começa em abril e termina em setembro (INMET,2015).

A temperatura do ar apresenta média anual em torno de 27°C e os climas mais quentes do ano estão compreendidos entre setembro a março, quando a umidade relativa do ar alcança 80% (SILVA et.al, 2015). Com estas características climáticas há um predomínio de vegetação gramínea na área representada pelas savanas, localmente conhecidas como lavrado.

4.2. GEOLOGIA

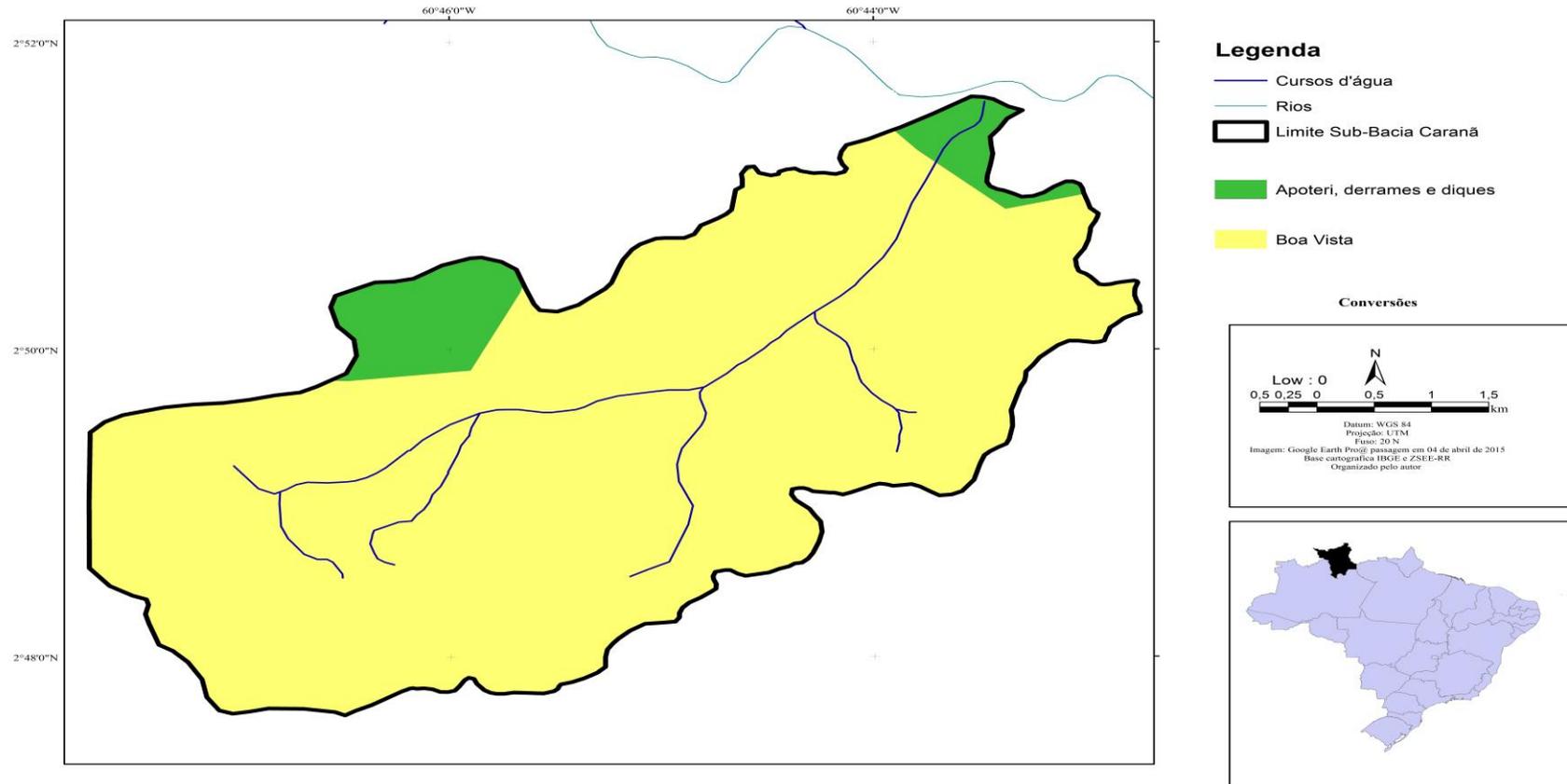
O contexto geológico regional da área de estudo está constituído por materiais mesozoicos pertencentes às unidades estratigráficas Bacia do Tacutu, Coberturas Sedimentares Indiferenciadas e Cobertura Detrito Laterítica. A área compreendida pelo município de Boa Vista, na qual está inserida a bacia do igarapé Caranã, está assentada sobre sedimentos mesozoicos da bacia do Tacutu. Estes pacotes mesozoicos estão encobertos na área da pesquisa por uma sequência de sedimentos do Neogeno, denominados de Formação Boa Vista (Figura 3). Estes sedimentos são caracterizados por serem inconsolidados, arenosos. Por vezes estes são associados a pacotes de argilas e intercalados por níveis de conglomerados. A área apresenta ainda pacotes de lateritas que formam um relevo pediplanizado em alguns locais. Esta característica geológica confere um grande grau de fragilidade à área de mananciais de água do igarapé (CPRM, 1999). Estas são em geral caracterizadas por sedimentos arenosos, friáveis e muito suscetíveis à erosão e deste modo ao processo de assoreamento.

A **Formação Boa Vista** recobre discordantemente as Formações Tucano, Tacutu e Apoteri, além de rochas proterozoicas adjacentes ao gráben. Sendo caracterizada por depósitos sedimentares formados em ambientes continentais fluvial, lacustre e eólico, com predominância de arenitos com subordinados lateritos, argilitos e conglomerados. Sua composição é formada primordialmente por sedimentos inconsolidados a semi consolidado s arenosos, parcialmente ferruginizados e depositados no leito ativo, margens e, com menos frequência, na planície de inundação dos rios, originando depósitos do tipo barras de canal longitudinal e transversal, barra em pontal, depósitos de diques marginais.

A área apresenta ainda pacotes de lateritas que formam um relevo pediplanizado em alguns locais. Esta característica geológica confere um grande grau de fragilidade à área de mananciais de água do igarapé. Estas são em geral caracterizadas por sedimentos arenosos, friáveis e muito suscetíveis a erosão e deste modo ao processo de assoreamento (CPRM, 1999). Depósitos quaternários são inferidos em algumas partes da bacia como a Formação Areias Brancas que é considerada um produto do retrabalhamento da Formação Boa Vista (REIS.et.al,2001). Os depósitos aluvionares recentes são depósitos de areias, cascalhos e subordinadamente argilas estão distribuídos nos leitos e terraços dos principais cursos d'água que drenam a região da bacia, e indicam denudação e assoreamento no Holoceno (MONTALVÃO et al. 1975).

A **Formação Apoteri** é outra unidade dentro da área de estudo. A Formação Apoteri (Figura 3) é representada na bacia por 1200 m de basaltos subaéreos, e localmente subaquoso, em associação com diques de diabásio. Datações feitas nessas rochas indicam que os diques de diabásio possuem idades Ar-Ar entre $197,4 \pm 1,9$ Ma e $201,1 \pm 0,7$ Ma (MARZOLI et al. 1999).

Figura 3. Mapa geológico da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016. Modificado de CPRM, 2004.

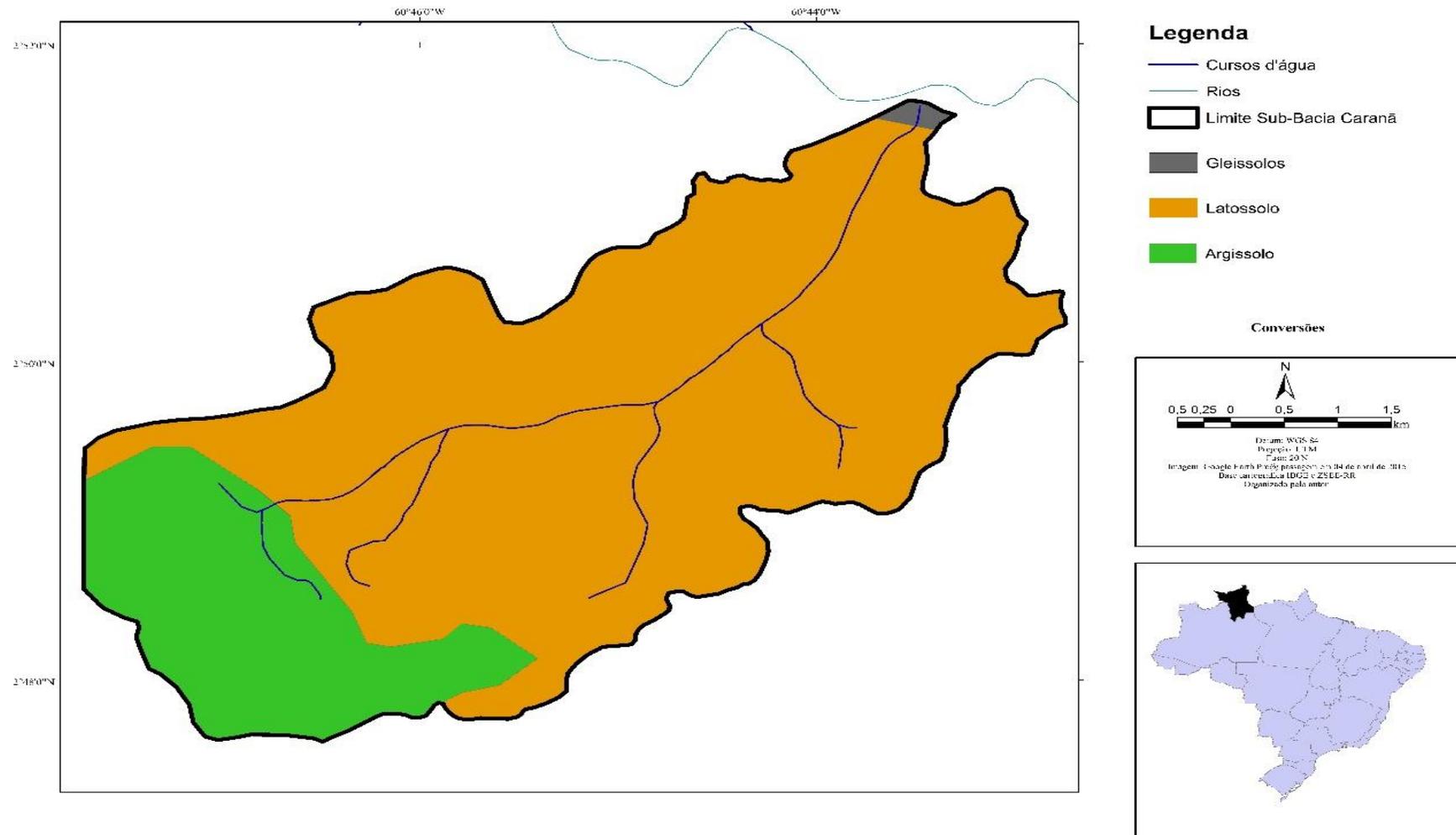
4.3. PEDOLOGIA

A pedologia da área de estudo mostra a presença de um grupo de solos, os latossolos vermelho amarelo, latossolo amarelo, gleissolos (Figura 4), foram originados pelos sedimentos arenosos inconsolidados e mal selecionados da Formação Boa Vista. Os latossolos são predominantes e representam uma grande parte da área de estudo. Caracterizam-se pela presença do horizonte B ôxido e/ou kândico, geralmente são bastante intemperizados em razão da forte lixiviação e de sua baixa capacidade de troca catiônica e dos altos níveis que assumi as trocas aniônicas. Estes latossolos são profundos e bem drenados, destaca-se a presença de lateritas hidromórficas, plintita e petroplintita. A área em questão normalmente apresenta um horizonte do tipo A de cor cinza com baixa espessura e fortemente suscetível a erosão laminar. O horizonte B apresenta baixa concentração de bases, particularmente estes apresentam alta coesão, o que em muitos casos dificulta a penetração de raízes e colabora para a erosão laminar. Os latossolos amarelos recobrem grande parte da área de estudo e caracteriza-se por apresentar baixa fertilidade, alto teor de acidez, grande quantidade de alumínio e baixa fertilidade natural (JUNIPER, 1989). Latossolos amarelos (LA): são solos com teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3) até 7%. Apresentam consistência dura a muito dura quando estão secos e acumulação maior de argila natural, isto é, argila dispersa na água. Esta característica favorece o aumento da densidade aparente que se reflete numa porosidade total mais baixa e maior coesão dos elementos estruturais do que em outros latossolos. O horizonte A superficial é pouco espesso e de baixos teores de matéria orgânica e o horizonte B, principalmente os argilosos e muito argilosos, apresentam estrutura prismática fracamente desenvolvida que se desfaz em blocos subangulares (IBGE, 2007).

Latossolos Vermelho-Amarelos (LL): são solos com teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3) entre 7% e 11%. Embora haja predomínio de goetita, entre os óxidos de ferro, os teores de hematita aumentam à medida em que os solos se tornam mais avermelhados (IBGE, 2007).

Solos Gleis (G): compreendem solos hidromórficos. Apresenta horizonte A superficial de cor preta, teores de matéria orgânica elevados e espessura variando de 10 a 30 cm. A partir da base do horizonte A ou H, os horizontes e/ou camadas apresentam cores acinzentadas ou cinzentas, com mosqueados amarelados e avermelhados causados pelos processos de oxirredução devido às oscilações do lençol freático (IBGE, 2007).

Figura 4. Mapa pedológico da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016.

4.4. GEOMORFOLOGIA

O mapeamento geomorfológico da área de estudo é caracterizado por um relevo do tipo planalto dissecado e superfícies pediplanas. Configura-se como regiões de arrasamento em rochas antigas e coberta parcialmente por coberturas sedimentares indiferenciadas. Sobre essa unidade superfícies ocorrem quantidades variáveis de pediplano denominado Pediplano Rio-Branco-Rio Negro, denominado de “campos do Rio Branco “devido principalmente à sua topografia plana e pela declividade muito baixa que se acentua apenas próximos aos canais hídricos (CPRM,1999).

4.5. VEGETAÇÃO

Em Roraima no referente a vegetação nos seus diferentes ecossistemas habita desde mata de galeria até áreas de Savana (Ducke,1949). Na área de estudo predomina a cobertura vegetal do tipo mata de galeria que se caracteriza pela descontinuidade do dossel, permitindo que a luz solar alcance o bosque, favorecendo sua regeneração. A cobertura vegetal do município de Boa Vista tem grande área ocupada por savanas, é representada por árvores e arbustos retorcidos em processo de adaptação, apresentando folhas grandes e coriáceas e as raízes podendo atingir grandes profundidades a fim de alcançar a umidade. As árvores ocorrem esparsamente distribuídas sobre um tapete gramíneo com intercalações de plantas arbustivas como também de áreas tipicamente campestres. Na área da bacia se caracteriza por solos poucos férteis e a vegetação condicionada pela presença de água. A vegetação, na sua maioria, está ocupada por areias encharcadas. A área onde se estabelece a vegetação do igarapé Caranã, possui uma fisionomia campestre. Na área das nascentes do igarapé, dominada por áreas alagadas, se estabelece uma vegetação do tipo gramínea. A formação arbórea é dominada por palmeiras da espécie Buriti (*Mauritia flexuosa*), que domina grande parte do percurso do igarapé Caranã, constituindo-se da fase inicial da mata ciliar do igarapé, estágio típico de igarapés de savanas. Na área mais próxima a foz, encontra-se espécies arbóreas de maior parte como a *Guateria* sp, *Xilopia* sp. Nesta a presença de buritis se torna mais escassa, já que a mata ciliar já se apresenta mistas com diversas espécies florísticas.

Também se encontram como mata de galeria de áreas inundadas que ocupam grandes planícies, sofrendo inundações na época das chuvas (março a setembro), sendo também denominadas de matas de igapó (IBGE,1992).

5. MATERIAS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para elaboração do presente trabalho teve como pressuposto teórico a relações entre os processos de morfogênese e pedogênese, ecodinâmica, proposta por Tricart (1997), o índice de fragilidade ambiental ao movimento de massas proposta por Moro et al. (2011), O índice vulnerabilidade a erosão proposto por Crepani et al. (1996), a fragilidade ambiental a inundação segundo Rosa et. Al (2008). Estando, assim, dividida nas seguintes fases: a) aquisição das informações bibliográficas; b) elaboração e organização da base de dados cartográficos; c) elaboração dos mapas de fragilidade ambiental para movimentos de massa, erosão, inundação e unidades geoambientais.

5.1. LEVANTAMENTO DE PESQUISA DOCUMENTAL

Os levantamentos de informações bibliográficas foram por meio de pesquisa documental, livros, dissertações e periódicos.

5.2. ELABORAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS CARTOGRÁFICOS

A base cartográfica digital de dados deste trabalho (Tabela 2) foi obtida em Grupos de pesquisa da UFRR e alguns órgãos públicos como IBGE e CPRM. Os dados foram organizados e processados no software de SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcGis 10.1®, Spring 5.2.

Tabela 2. Informações utilizadas na organização e elaboração da base cartográfica.

INFORMAÇÃO	ORIGEM DA INFORMAÇÃO
Divisão municipal de Roraima	SEPLAM, Roraima (2011) / formato shapefile na escala de 1:100.000
Geologia	CPRM (2004) / Roraima formato shapefile na escala de 1:1000000
Pedologia	IBGE, Roraima (2011) / formato shapefile na escala de 1:100.000
Geomorfologia	ZEE, Roraima (2015) / formato shapefile na escala de 1:100.000
Clima	INMET, Roraima (2006-2015) / formato shapefile na escala de 1:250.000
Vegetação	IBGE-Roraima, (2011) / formato shapefile na escala de 1:250.000
Hidrografia da área urbana Boa Vista	SIPAM (2015) / formato shapefile na escala de 1:100.000
MDE	INPE (2015) / imagem de satélite SRTM/TOPODATA com resolução espacial de 1:30
Hipsometria	INPE (2015) / imagem de satélite SRTM/TOPODATA com resolução espacial de 1:30
Declividade	INPE (2015) / imagem de satélite SRTM/TOPODATA com resolução espacial de 1:30
Uso e cobertura do solo	INPE (2015) imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM com resolução espacial de 1:30

5.3. ELABORAÇÃO DO MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

A elaboração do mapa síntese de fragilidade ambiental foi dividida nas seguintes fases: primeiro a identificação das unidades homogêneas da paisagem, posteriormente atribuições dos pesos aos níveis de fragilidade e, finalmente, o cálculo do índice de fragilidade ambiental para os temas de movimento de massas, erosão e inundação. Nesta etapa foi realizada a classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental, respeitando as relações entre os processos de morfogênese e pedogênese proposta por Crepani et al. (1996), a hierarquia nominal para a caracterização da fragilidade dos ambientes sugerida por Rosa et al. (2008) e o índice de fragilidade ambiental proposta por Moro et al. (2011), conforme mostra a Tabela 3. Para a prevalência de pedogênese o peso atribuído ao índice de fragilidade ambiental segundo Crepani et al. (1996) corresponde a 1,0, 2,0 e 3,0 como prevalência de pedogênese, equilíbrio e morfogênese respectivamente. Quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos. Para

Rosa et.al (2008) o nível de fragilidade baixo-média vai de de 1,0 a 1,7, médio a 1,7 e médio a alto entre 2,0 e 2,5. Por fim temos o cálculo para fragilidade de Moro et.al (2011) que varia de muito baixo (1,0-1,5), baixo (1,5001-1,75), médio (1,7501-2,00), alto (2,001-2,25) e muito alto (2,2501-2,55).

Tabela 3. Índice de fragilidade ambiental para área de estudo em conformidade com Rosa et. Al (2008), de Crepani et al. (1996), e Moro et al. (2011).

Relação entre a unidades ambientais e a atribuição de pesos					
Crepani (1996)		Rosa et. Al (2008)		Moro et al. (2011)	
Relação	Peso	Nível de fragilidade	Peso	Índice de fragilidade	Peso
Prevalência da pedogênese	1	Baixo-Médio	1,0	Muito Baixo	1,0 – 1,5
			1,7	Baixo	1,5001 – 1,75
Equilíbrio	2	Médio	1,7	Médio	1,7501 - 2,00
Prevalência da morfogêse	3	Médio-alto	2,0	Alto	2,001 - 2,25
			2,5	Muito Alto	2,2501 – 2,55

5.3.1. A identificação das unidades homogêneas da paisagem

Esta etapa consistiu na organização e elaboração dos dados temáticos vetoriais de Geologia, Geomorfologia, Declividade, Pedologia, Clima, Uso e Cobertura do solo, bem como a caracterização destas unidades ambientais. Estes dados vetoriais geraram mapas temáticos após terem sido tratados em ambiente Arcgis10.1@ e editados no software Corel 13@.

Esta fase do trabalho iniciou-se com a criação do banco de dados, com recorte espacial coincidente com limites máximos da sub-bacia do igarapé Caranã, para os quais foram importados os dados de geologia, pedologia, clima, geomorfologia e vegetação que, posteriormente, foram recortados e adequados à área banhada pela Bacia do Igarapé Caranã.

Para a confecção do mapa hipsométrico e de declividade foi elaborado o MDE (Modelo Digital de Elevação) a partir das curvas de nível de 5 em 5 metros extraídas da imagem SRTM/TOPODATA, utilizando o comando “Geração de Isolinhas” disponível no menu “MNT” do Arcgis 10.1@.

Para a obtenção de dados temáticos utilizou-se a técnica de classificação supervisionada da imagem LANDSAT 8 para o ano de 2015. Segundo Fitz (2008), esta

técnica está relacionada à identificação de determinados elementos nelas presentes pela associação de cada um de seus pixels a uma determinada classe preestabelecida. Assim, a classificação supervisionada de uma imagem diz respeito à identificação dos objetos presentes na cena mapeada, com base na reflectância eletromagnética, e a capacidade interpretativa do profissional responsável, uma vez que é esse quem define áreas representativas que darão base para toda a classificação da imagem. O classificador utilizado foi o Máxima Verossimilhança (MAX-VER). Fitz (2008) refere-se a esta classificação como baseado na escolha de áreas que possam ser representativas de determinadas feições conhecidas. Neste método são utilizadas a média e a covariância dos pixels amostrados, sendo calculada a probabilidade de um pixel externo a essas amostras.

5.3.2. Cálculo do índice de fragilidade ambiental a Movimento de Massa

Para o cálculo do índice de fragilidade ambiental a movimento de massa foi a utilizada a Equação 1 de Moro et.al (2011), após a atribuição dos pesos para cada tema e o cruzamento dos temas através da Ferramenta Raster Calculator disponível no Arcgis 10.1@.

Equação 1

$$I_f = 0,23 \times G + 0,27 \times D + 0,21 \times S + 0,15 \times C + 0,14 \times U$$

Onde:

I_f: Índice de fragilidade;

G: Geologia;

D: Declividade;

S: Solo;

C: Clima;

U: Uso e Cobertura da Terra.

5.3.3. Cálculo do índice de fragilidade ambiental a inundação

Nesta fase foi realizada a classificação do grau de estabilidade ou fragilidade de cada unidade ambiental a ocorrência de inundação, respeitando as relações entre as variáveis proposta por Rosa et. Al (2008), Equação 2. Os cruzamentos posteriormente ao estabelecimento dos pesos seguiram os mesmos procedimentos do cálculo dos índices de fragilidade a movimento de massas e erosão.

Equação 2

$$IRI = x_1D + x_2A + x_3P + x_4U + x_5PE$$

Onde:

IRI: Índice de Risco de Inundação do Igarapé Caranã;

D: declividade;

U: uso e ocupação da terra;

A: altitude;

P: Precipitação;

PE: Pedologia.

x_1, x_2, x_3, x_4 e x_5 são os pesos estatísticos, variando de 0 a 1.

5.3.4. Cálculo do índice de vulnerabilidade ambiental a erosão de solo

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade a erosão foi utilizada a Equação 3 de Crepani et al. (1996). Após o estabelecimento dos pesos, o cruzamento dos temas também ocorreu através do Raster Calculator disponível no ArcGis 10.1@.

Eguação 3

$$V = (Geo + Dec + Solo + Clima + Uso) / 4$$

Onde:

V : Vulnerabilidade a erosão

Geo: Geologia;

Dec: Declividade;

Solo: Solos;

Uso: Uso e Cobertura do solo.

5.3.5. Cálculo do índice e elaboração do mapa de fragilidade das unidades geoambientais

O índice de fragilidade ambiental das unidades geoambientais para a área de estudo foi estabelecido conforme a equação 4. Todavia, primeiro foi necessário normalizar os dados, isto é, os mapas de fragilidade a movimento de massas, erosão e inundação receberam pesos de 1 a 3, sendo 1 para as classes com maior estabilidade e 3 para que possuam maior fragilidade, conforme a Tabela 4.

Equação 4

$$FG = FM + FI + FE / 3$$

Onde:

FG= Fragilidade das unidades geoambientais;

FM = Fragilidade a movimentos de massa com os pesos;

FI = Fragilidade a inundação com os pesos;

FE= Fragilidade a erosão com os pesos.

Tabela 4. Índices de fragilidade ambiental e pesos das classes das unidades ambientais.

CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL			PESO	COR
Crepani (1996)	Rosa et. Al (2008)	Moro et al. (2011)		
Prevalência da pedogênese	Baixo- baixíssimo	Muito baixo	1	
	Médio-baixo	Baixo	1,5	
Equilíbrio	Médio	Médio	2,0	
Prevalência da morfogêse	Alto-médio	Alto	2,5	
	Altíssimo-alto	Muito Alto	3	

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com aplicação da metodologia proposta foi possível obter os mapas de fragilidade a possibilidade da ocorrência de movimento de massa, Inundação e Vulnerabilidade erosiva para a área de estudo, bem como o mapa síntese de fragilidade das unidades geoambientais na área estudada.

6.1. PRECIPITAÇÃO

A atribuição dos índices de fragilidade ambiental para o tema de precipitação procedeu-se a partir da análise da capacidade da chuva, de desagregação, transporte e deposição do solo, considerando a quantidade, intensidade e distribuição sazonal dos eventos chuvosos (PANACHUKI et al., 2006).

Para a avaliação deste tema na área de estudo utilizou-se a série histórica de dados pluviométricos disponível, obtida na estação meteorológica de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia, sediada no Aeroporto Internacional Boa Vista, em referente ao período de 2006 a 2015, figura 5. O uso dos dados desta estação meteorológica ocorreu em função de que as demais estações presentes nas proximidades da área de estudo não possuem séries históricas de dados em períodos recentes ou apresentam períodos sem o registro de dados.

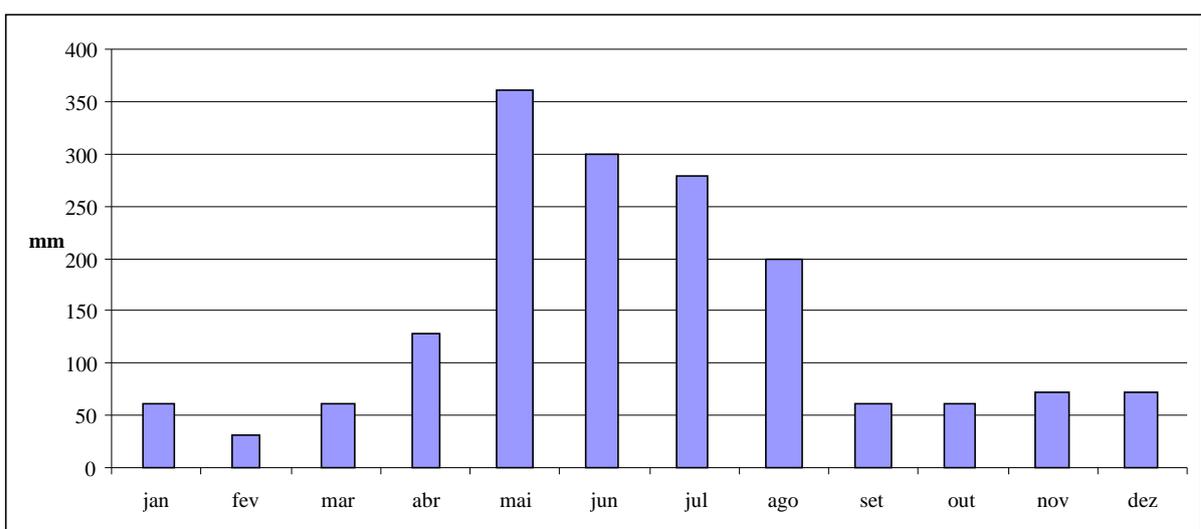


Figura 5. Valores médios anuais de precipitação pluvial, do período de 2006 a 2015, da área de abrangência da Estação Meteorológica de Superfície do INMET, localizada no Aeroporto Internacional de Boa Vista.

Os dados pluviométricos permitiram a identificação de apenas um único índice de precipitação média anual de precipitação de 1742 mm no período 2006 a 2015. Verificou-se que a distribuição dos índices pluviométricos é sazonal, sendo, portanto, o período de maio a agosto os mais influentes na fragilidade ambiental da bacia estudada e janeiro e fevereiro os de menores contribuições. O solo do da região do Igarapé Caranã é areno-argiloso com altos índices de alumínio, sendo que nos períodos chuvosos este solo se desagrega se tornando uma lama com alto teor de ductilidade elevando seu grau de desagregação implicando no transporte de sedimentos, influenciando diretamente nos diferentes níveis de fragilidade a movimento de massa, vulnerabilidade erosiva e inundação. No período seco o alumínio tem outra característica, fazendo com que esse solo se enrijeça e se torne extremamente compacto, dificultando os processos erosivos e sendo menos atuante nos níveis de fragilidade. Com a ocupação da área e supressão da cobertura vegetal o solo descoberto vem favorecer o processo de fragilidade ambiental principalmente nos meses de alto índice de pluviosidade.

Os pesos atribuídos para as unidades homogêneas de fragilidade geoambiental foi estabelecido na Tabela 05.

Tabela 5. Índices de fragilidade ambiental para o tema precipitação.

FAIXA DE PRECIPITAÇÃO	PESO		
	MOVIMENTO DE MASSA	EROSÃO	INUNDAÇÃO
1700- 1800	2,25	2,5	3.0

6.2. GEOLOGIA

A atribuição dos pesos para o tema Geologia envolveu critérios relacionados ao grau de coesão das rochas. A existência de rochas pouco coesas implica na predominância dos processos erosivos modificadores da paisagem, enquanto as rochas coesas tendem a sofrerem maior atuação dos agentes intempéricos e, conseqüentemente, prevalência da pedogênese.

Assim, conforme afirma Crepani et al. (1996), os valores atribuídos para a avaliação do tema Geologia em relação a morfodinâmica da paisagem natural devem ser próximos a (1,0) quando as rochas apresentarem maior grau de coesão; próximos a (2,0) para as rochas que apresentarem grau intermediário de coesão; e (3,0) para as rochas que apresentarem menor grau de coesão.

As áreas localizadas próximo ao leito do Igarapé são representadas por pacotes argilosos de cor escura, mostrando um solo hidromórfico, gleissolos. Nas regiões adjacentes o solo areno argiloso é associado a Formação Boa Vista. A Formação Apoteri aflora em uma pequena parte da bacia do Caranã na região nordeste e uma porção na parte norte (figura 3).

As unidades geológicas da área de estudo identificadas na Figura 03 apresentam história geológica relacionada ao Cenozoico. De tal forma que a sua configuração está relacionada a processos de sedimentação de diversas naturezas e a intensa ação intempérica sobre material granítico. Os índices dos litotipos relacionados à fragilidade ambiental presentes na área de estudo estão indicados na Tabela 6.

Tabela 6. Índices de fragilidade ambiental para o tema geologia.

UNIDADES GEOLÓGICAS	PESO		
	MOVIMENTO DE MASSA	EROSÃO	INUNDAÇÃO
Formação Boa Vista	2,0	2,5	1,5
Formação Apoteri	1,2	1,3	1,6

6.3. DECLIVIDADE

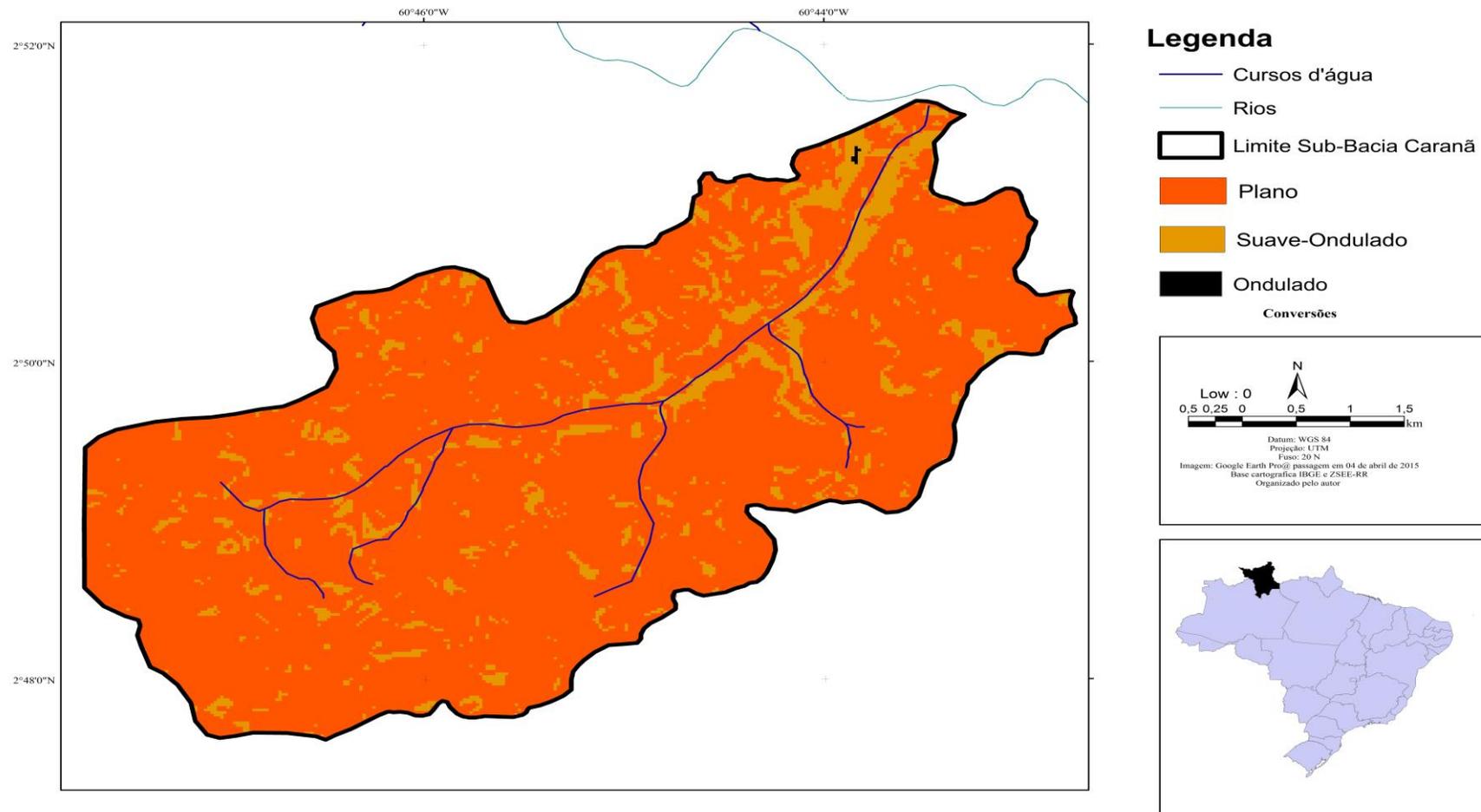
A declividade constitui-se como um dos principais fatores para a definição da fragilidade ambiental. Uma vez que quanto mais íngreme maior será a velocidade do escoamento superficial e por consequência maior será a intensidade de dissecação do relevo. A esse respeito Crepani et al. (1996) explica a influência da geomorfologia na morfodinâmica da paisagem deve estar centrada no grau de dissecação do relevo. Nesta mesma perspectiva, Ross (1994) afirma que para as análises realizadas em escalas com maior detalhe o fator declividade deve ser utilizado para representar o fator geomorfologia.

Com relação a declividade da área de estudo, observou-se que 78,33%, apresenta declividade igual ou inferior a dois graus, configurando-se relevo do tipo plano, difuso por toda área da Bacia. As áreas com relevo do tipo suave ondulado recobrem 20,90%, e estão concentradas, em porções pontuais ao longo da bacia. As porções com relevo ondulado recobrem 0,77% e estão concentrados no quadrante nordeste, figura 06. A hipsometria da bacia foi feita de cinco em cinco metros, a maior parte da bacia corresponde a variação altimétrica em torno de 80-85 metros, a altitude máxima encontra-se a 90 metros e a mínima em 60 metros (Figura 7). Os índices relacionados à fragilidade ambiental para o tema declividade presentes na área de estudo estão indicados na Tabela 7.

Tabela 7. Índices de fragilidade ambiental para o tema declividade.

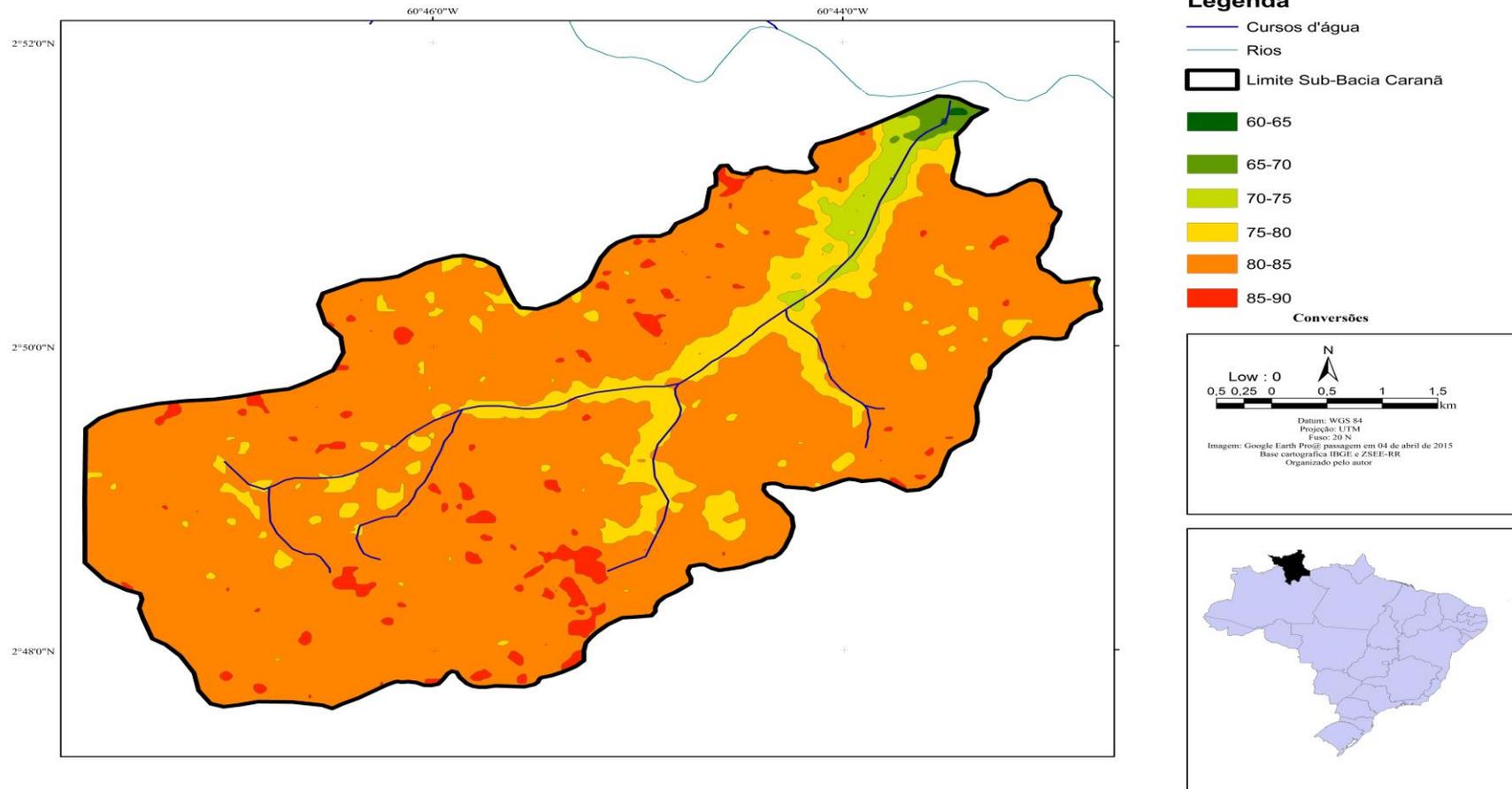
DECLIVIDADE (°)	TIPO DE RELEVO	PESO		
		MOVIMENTO DE MASSA	EROSÃO	INUNDAÇÃO
0-2	Plano	1,0	1,0	3,0
2-5	Suave ondulado	1,4	1,4	2,7
5-8	Ondulado	1,8	1,8	2,4
8-10		2,0	2,0	2,0
10-20	Fortemente ondulado	2,4	2,4	1,6
20-30	Muito fortemente ondulado	2,8	2,8	1,3
>35	Montanhoso	3,0	3,0	1,0

Figura 6. Mapa de Declividade da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016.

Figura 7. Mapa hipsométrico da bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016.

6.4. PEDOLOGIA

Os valores de fragilidade ambiental para unidades pedológicas a partir da análise dos parâmetros referentes ao tipo de solo, suas características mineralógicas e o grau de desenvolvimento.

A distribuição das unidades pedológicas presentes na bacia do igarapé Caranã pode ser observada na Figura 4. Observa-se que a maior parte da área de estudo (90,4%) está sob Latossolos Vermelho-Amarelos, apresentando somente uma pequena mancha de solos do tipo Gleissolos distribuída no seu extremo nordeste e uma parte de argissolos.

A distribuição dos pesos para cada unidade pode ser observada na Tabela 8. Os latossolos, por estarem associados a depósitos sedimentares e por consequência a mais de um tipo de solo em um mesmo polígono, receberam peso superior ao recomendado por Crepani et al. (1996). Esses autores consideram os latossolos estáveis e sugerem que o peso para esse tipo de solo seja em 1,0. Todavia, conforme IBGE (2006) nesta porção do estado de Roraima, por vezes, os Latossolos estão associados à Cambissolo tb distrófico com horizonte A proeminente e do tipo Glei pouco húmico tm distrófico. Nestes casos, os solos apresentam moderada permeabilidade, com profundidade dos perfis variando 50 a 150 cm, com ausência de cimentação nas encostas e estrutura que varia de franco-blocos a blocos subangulares.

Deste modo, para atribuição do peso para essa unidade, foi estabelecida na seguinte proporção dos pesos referentes a cada classe, 40% para a primeira classe, 30% para segunda classe e 30% para a terceira classe que resultou no índice igual 2,0. Já os solos do tipo Glei, por estarem associados a depósitos aluviais recentes, apresentarem solos jovens com perfis incipientemente desenvolvidos receberam peso igual a 3,0.

Tabela 8. Índices de fragilidade ambiental para o tema pedologia.

UNIDADES PEDOLÓGICAS	PESO		
	MOVIMENTO DE MASSA	EROSÃO	INUNDAÇÃO
Latossolos Vermelho-Amarelos	1,5	1,0	1,2
Argissolos	1,2	1,7	2,7
Gleissolos	2,5	3,0	1,9

6.5. USO E COBERTURA DO SOLO

A partir da interpretação e análise da imagem do satélite foi possível identificar a distribuição do uso e cobertura do solo na bacia do igarapé Caranã (Tabela 9 e Figura 8). O índice mais elevado de fragilidade ambiental foi atribuído a porção ao nordeste da área de estudo com 0,54 hectares, correspondendo a 9% da área total, classificada como pasto/mineração areia. Por conseguinte, a área urbana possui maior impacto na região, já que a ocupação urbana é elevada na área de pesquisa devido a ocupação sem planejamento adequado por aproximadamente 12 bairros além de áreas rurais. Por sua vez, as áreas classificadas como Floresta Ombrófila Aberta receberam peso igual a 1,0 (Tabela 10).

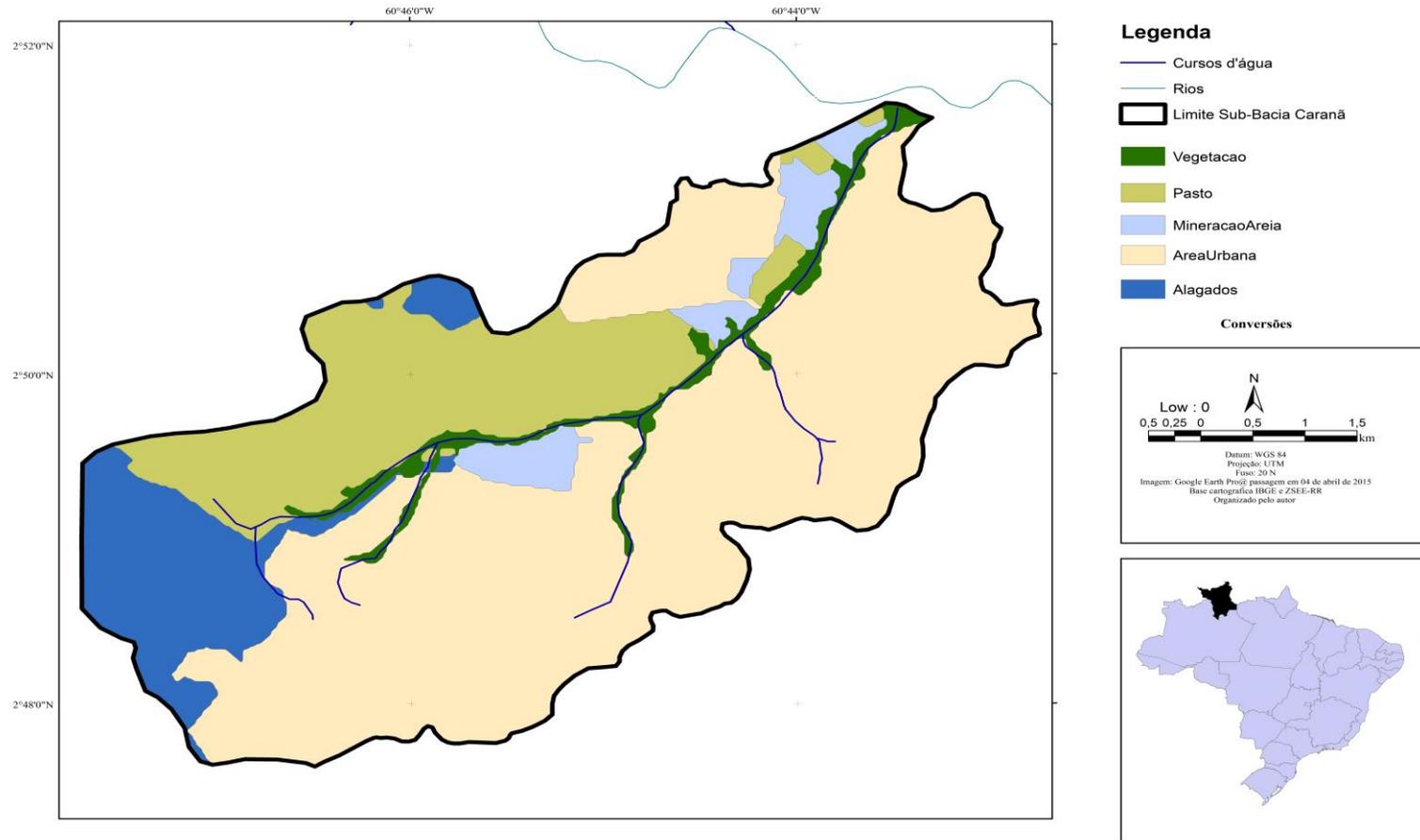
Tabela 9. Distribuição das diferentes categorias de uso e cobertura do solo, em 2016, na bacia do igarapé dos Caranã, Boa Vista/RR.

USO E COBERTURA DO SOLO	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Alagados	0,2734	15
Área Urbana	0,7	75
Mineração Areia	0,039	5
Pasto	0,024	4
Vegetação	0,05	3

Tabela 10. Índices de fragilidade para o tema uso e ocupação do solo.

USO E COBERTURA DO SOLO	PESO		
	MOVIMENTO DE MASSA	EROSÃO	INUNDAÇÃO
Alagados	1,0	1,0	3,0
Área Urbana	1,6	1,5	2,0
Mineração Areia	1,9	2,5	2,3
Pasto	1,7	2,6	1,5
Vegetação	1,0	1,0	1,0

Figura 8. Mapa de uso e Ocupação do solo na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016.

6.6. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL A MOVIMENTO DE MASSA

Posteriormente a atribuição dos índices referentes a fragilidade a movimento de massa, para cada tema, foi possível a identificação das unidades onde há predominância da morfogênese, pedogênese ou onde prevalece o equilíbrio. A hierarquização das classes de fragilidade para o tema foi estabelecida em conformidade com Moro et al. (2011), conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11. Índices de fragilidade ambiental e intervalos de classes. Adaptado de Moro et al. (2011).

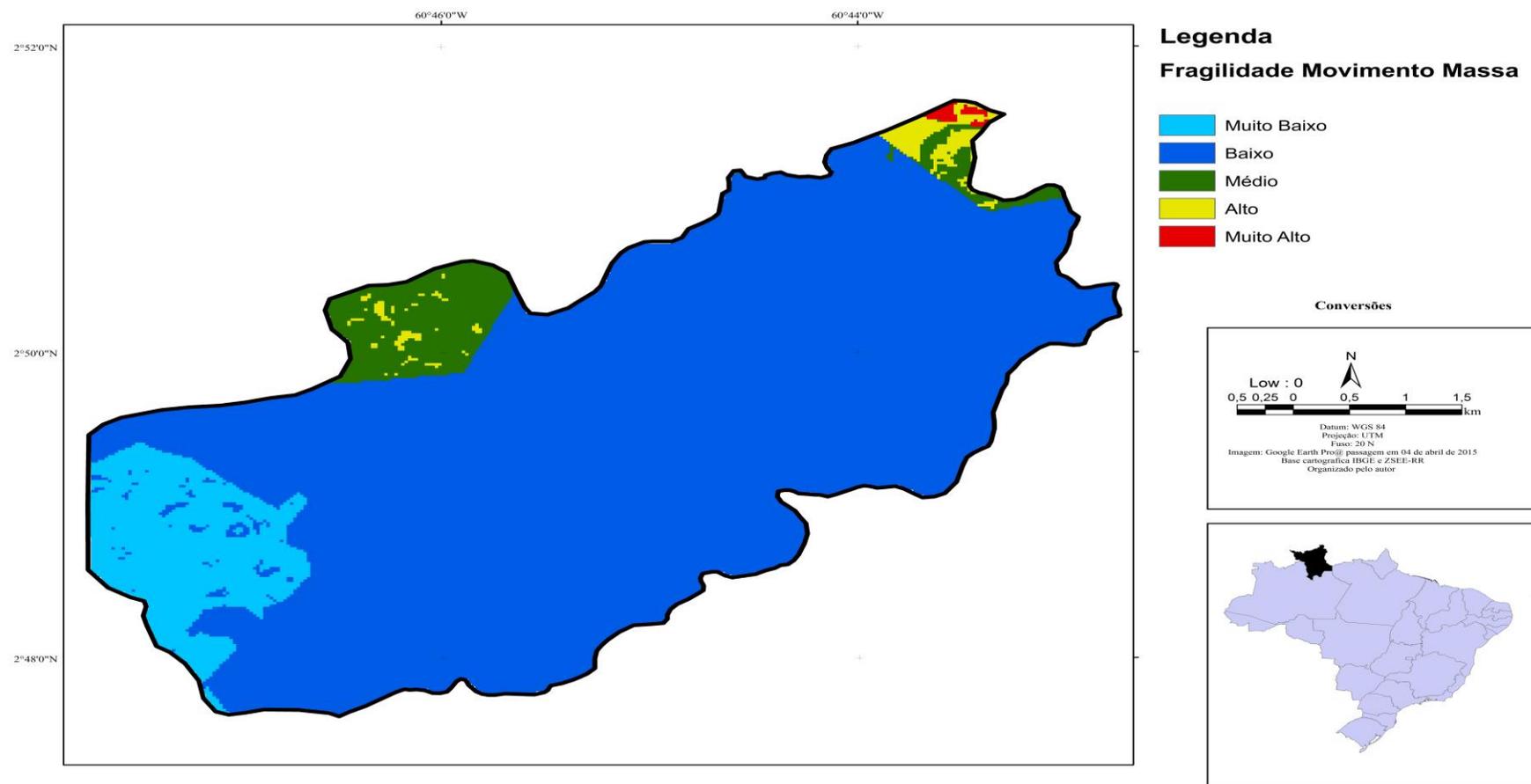
CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	INTERVALOS DE CLASSE	COR DA CLASSE
Muito baixo	1,25 – 1,5	
Baixo	1,5001 – 1,75	
Médio	1,7501 – 2,00	
Alto	2,0001 – 2,25	
Muito Alto	2,2501 – 2,55	

Os resultados mostram a existência de cinco classes de fragilidade ambiental na morfodinâmica da paisagem da área de estudo, como predomínio em sua maior parte (96,17%) das classes fragilidade ambiental baixa e muito baixa, ou seja, encontra-se em situação de estabilidade com predominância da pedogênese, Tabela 12 e figura 9.

Tabela 12. Distribuição das classes de fragilidade ambiental na bacia do igarapé Caranã.

CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Muito baixa	319,63	18,10
Baixa	1.378,41	78,07
Média	45,45	2,57
Alta	13,28	0,75
Muito alta	8,81	0,50

Figura 9. Mapa de Fragilidade ambiental/Movimento de massa na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista, (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros,2016.

A classe de fragilidade ambiental muito baixa ocupa 18,10% da área de estudo. Ocorre principalmente em uma porção contínua que se situa na porção oeste da área de estudo, e por vezes ocorre também em porções menos significativas descontínuas. Esta classe está associada ao material argiloso, floresta ombrófila aberta original convertida em área urbana e declividade inferior a 5 graus. A classe fragilidade ambiental baixa configura-se como a classe mais representativa da bacia do igarapé Caranã (78,07%). São porções do terreno em que o substrato é composto por material laterítico ferruginoso imaturo, zona incoesa e declividade entre de 2 e 5 graus, chegando a 8-10 graus na porção norte-nordeste. Ressalta-se que no quadrante nordeste da área de estudo esta classe fragilidade ambiental baixa possui tendência a aumentar seus índices de fragilidade ambiental, caso seja retirada a cobertura vegetal, onde a declividade fica entre 2-5 graus.

A classe de fragilidade ambiental média (2,57%) refere-se a porções do terreno com características dos elementos naturais do meio físico e ocupacionais semelhantes àquelas com fragilidade ambiental baixa. Porém, o incremento da instabilidade da paisagem refere-se a substituição da vegetação natural por área antropizada em declividades superiores a 5 graus no quadrante noroeste da área de estudo. Destaca-se que esta classe possui porções do terreno com significativas tendências para ocorrer movimento de massa, principalmente nos meses de maiores índices de precipitação pluviométrica em declividades inferiores a 5 graus.

A classe de fragilidade ambiental alta (0,75%) está associada a porções irregulares e descontínuas distribuídas no quadrante nordeste da área de estudo, onde a declividade varia entre 2-5 graus, com o substrato constituído por material laterítico ferruginoso imaturo, zona incoesa, tendo a vegetação original convertida parcial ou totalmente em área urbana. Esta classe de fragilidade ambiental alta também ocorre em porções localizadas no norte-noroeste da bacia do igarapé dos Caranã e solos do tipo latossolos. Intercala-se com porções da classe de fragilidade ambiental muito alta, exibindo vegetação original e declividade entre 2 a 5 graus.

A classe de fragilidade ambiental muito alta encontra-se em porções descontínuas reduzidas localizadas no extremo nordeste da área de estudo (0,50%), onde a cobertura vegetal original cedeu lugar a área urbana em um ambiente geológico de deposição sedimentar da Formação Boa Vista, sobre o qual desenvolvem solos do tipo glei. A declividade acentuada (2 a 8 graus), associada ao alto potencial pluviométrico em que está submetida, representa um significativo potencial desajuste na morfodinâmica da paisagem.

6.7. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL A INUNDAÇÃO

A partir do cruzamento dos dados geoespaciais da área estuda foi possível estabelecer três níveis de fragilidade ambiental para inundação: baixo, médio e alto, conforme Tabela 13 e figura 10.

Tabela 13. Distribuição das classes de fragilidade ambiental para inundação na bacia do Igarapé Caranã

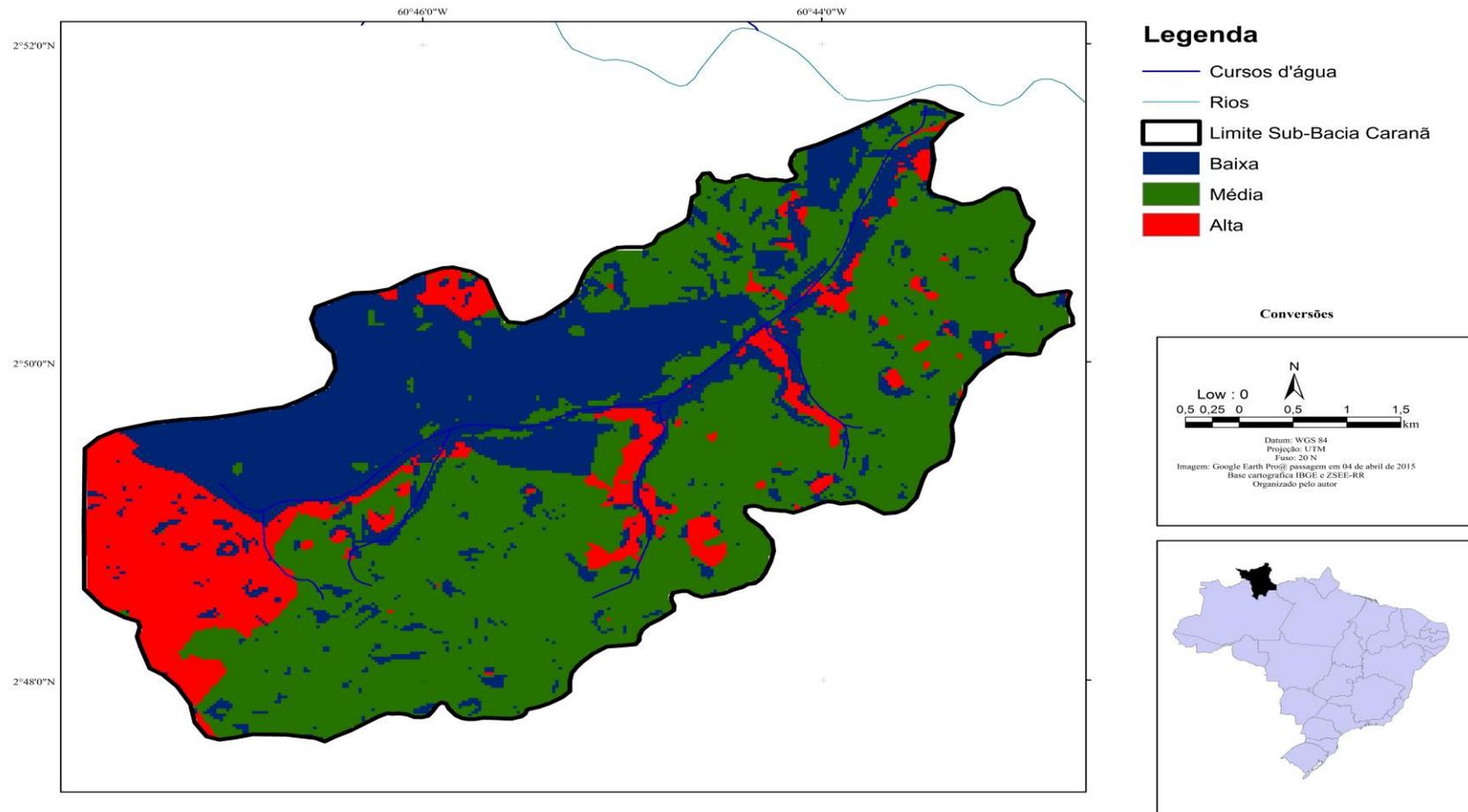
CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	INTERVALOS DE CLASSE	COR DA CLASSE
Baixo	1,5 – 1,7	
Médio	1,7 – 2,0	
Alto	2,0 – 2,3	

A classe de fragilidade ambiental baixa para inundação (25%), ocorre principalmente na porção noroeste – norte da área de estudo. Esta classe está associada a solos lateríticos floresta ombrófila aberta original convertida em área urbana e declividade inferior a 5 graus. Ocorre principalmente em uma porção contínua que se situa na porção noroeste a norte da área de estudo, e por vezes ocorre também em porções menos significativas descontínuas.

A classe de fragilidade ambiental média para inundação (55%) refere-se a porções do terreno com características dos elementos naturais do meio físico e ocupacionais semelhantes àquelas com fragilidade ambiental baixa. Porém, o incremento da instabilidade da paisagem refere-se à substituição da vegetação natural por área antropizada em declividades inferiores a 5 graus em torno do quadrante central da área de estudo.

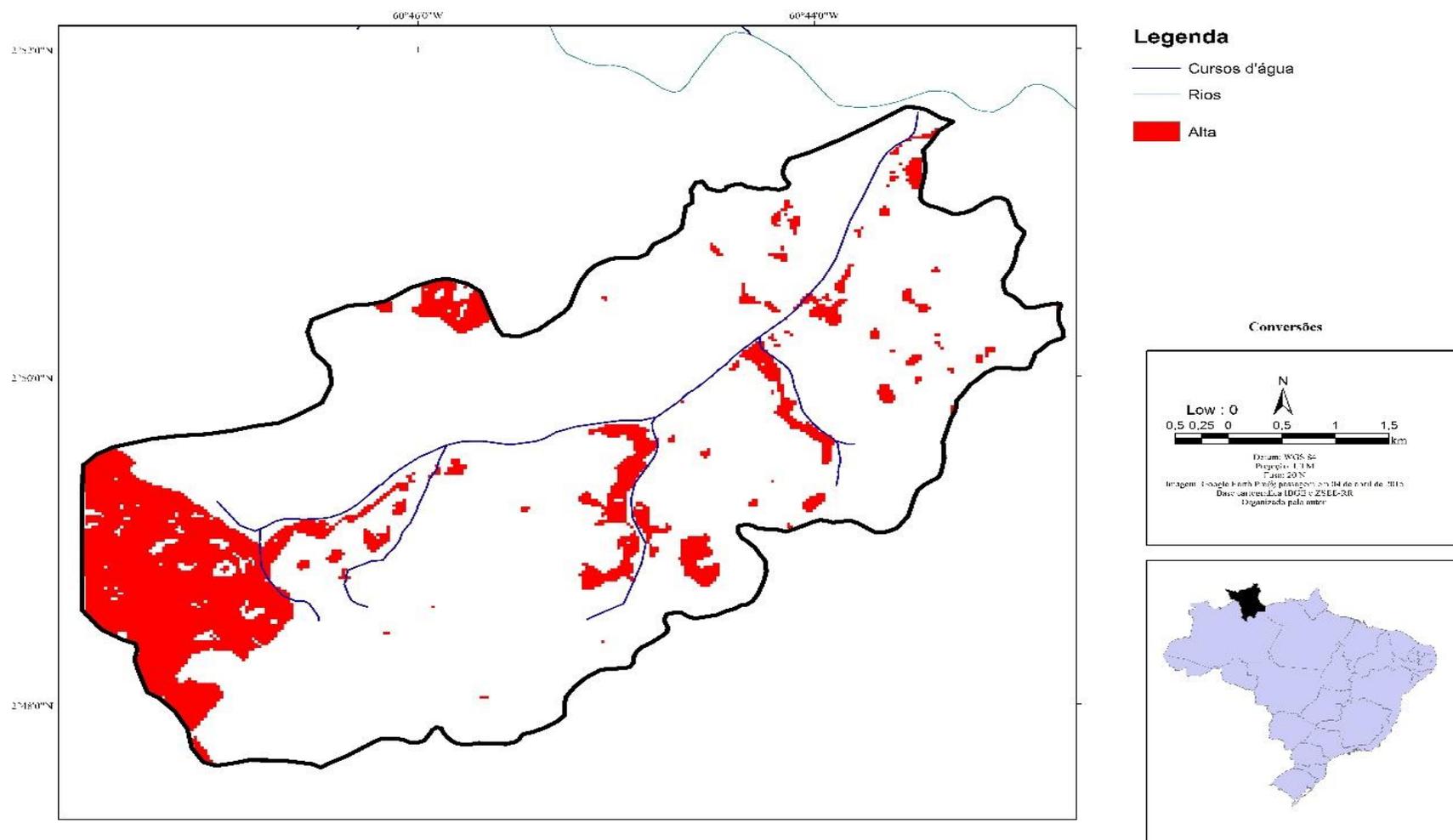
A classe de fragilidade ambiental alta (figura 11) para inundação (20%) está associada a porções irregulares e descontínuas distribuídas principalmente no quadrante oeste da área de estudo, onde a fragilidade ambiental para movimentos de massa é muito baixa, a declividade é bem plana, variação altimétrica entre 80-85 metros com o substrato constituído por material argiloso, tendo a vegetação original convertida parcial ou totalmente em área urbana e solos do tipo argiloso, tais solos podem explicar a presenta pouca porosidade porém uma alta permeabilidade. O relevo é plano apresentando variações da ordem de 2 a 5 graus e com variação altimétrica entre 80 - 85 metros, pertencendo a Formação Boa Vista como unidade.

Figura 10. Mapa de fragilidade ambiental/Inundação na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016.

Figura 11. Mapa de Fragilidade Ambiental/inundação alta na bacia do igarapé Caranã (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros,2016.

6.8. MAPA DE VULNERABILIDADE A EROSÃO LAMINAR A PERDA DE SOLOS

A partir dos resultados para o tema vulnerabilidade a erosão foi possível observar que a classe de fragilidade ambiental para erosão baixa e muito baixa correspondem a (70%) da área de estudo devido a presença de Latossolos e declividade baixa.

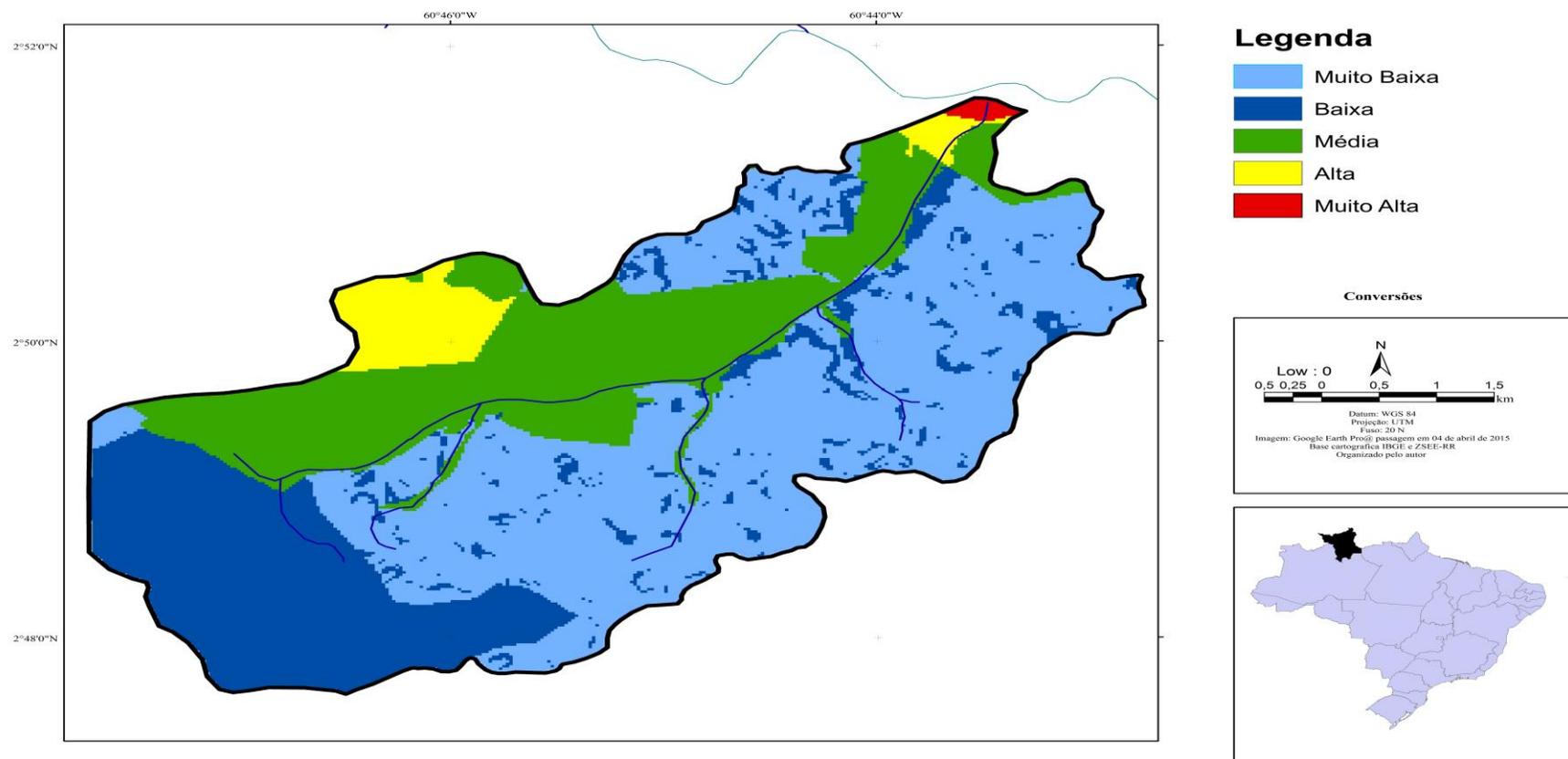
Já a Fragilidade ambiental média ocorre em cerca de (15%) localizando-se no centro norte da bacia Caranã. A classe de fragilidade ambiental alta para erosão correspondem a porção noroeste, coincidindo com o relevo plano, latossolos, vegetação do tipo pasto e altimetria mais elevada.

Por fim a classe de fragilidade ambiental Muito Alta (3,8%) para erosão ocorre no extremo nordeste da área de estudo está associada a porções irregulares e descontínuas distribuídas no quadrante nordeste da área de estudo, onde a declividade está associada ao relevo suave ondulado, com o substrato constituído por sedimentos fluviais do rio Cauamé e solos do tipo glei, observados na tabela 14, figura 12.

Tabela 14. Valores de fragilidade ambiental para erosão adaptado de Crepani et al (1996).

CLASSES DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL	INTERVALOS DE CLASSE	COR DA CLASSE
Média a alta pedogênese	1,0 – 1,5	
Baixo a alta pedogênese	1,5 – 2,0	
Equilíbrio morfodinâmico	2,00	
Baixa a média morfogênese	2,0 – 2,5	
Média a alta morfogênese	2,5 – 3,0	

Figura 12. Mapa de fragilidade ambiental a erosão laminar a perda de solo na bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros, 2016.

6.9. MAPA DE FRAGILIDADE DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS

A partir do cruzamento dos mapas de fragilidade a movimento de massas, vulnerabilidade a erosão e fragilidade a inundação foi possível gerar o mapa de fragilidade das unidades geoambientais e classifica-las em I, II e III (Figura 13). Na tabela 15 estão os valores relacionados. A unidade de fragilidade geoambiental I corresponde a baixa fragilidade ocupa a maior parte da área estudada (60%) com porções distribuídas de nordeste a sudeste, além de um pequeno entrave a noroeste. Nesta classe, há estabilidade para a perda de solos e movimento de massa. Todavia, apresenta grande problema em relação a ocorrência de inundações, pois varia de média a alta fragilidade. Esta última, apresenta-se como pequenas depressões marginais espalhadas ao longo desta unidade.

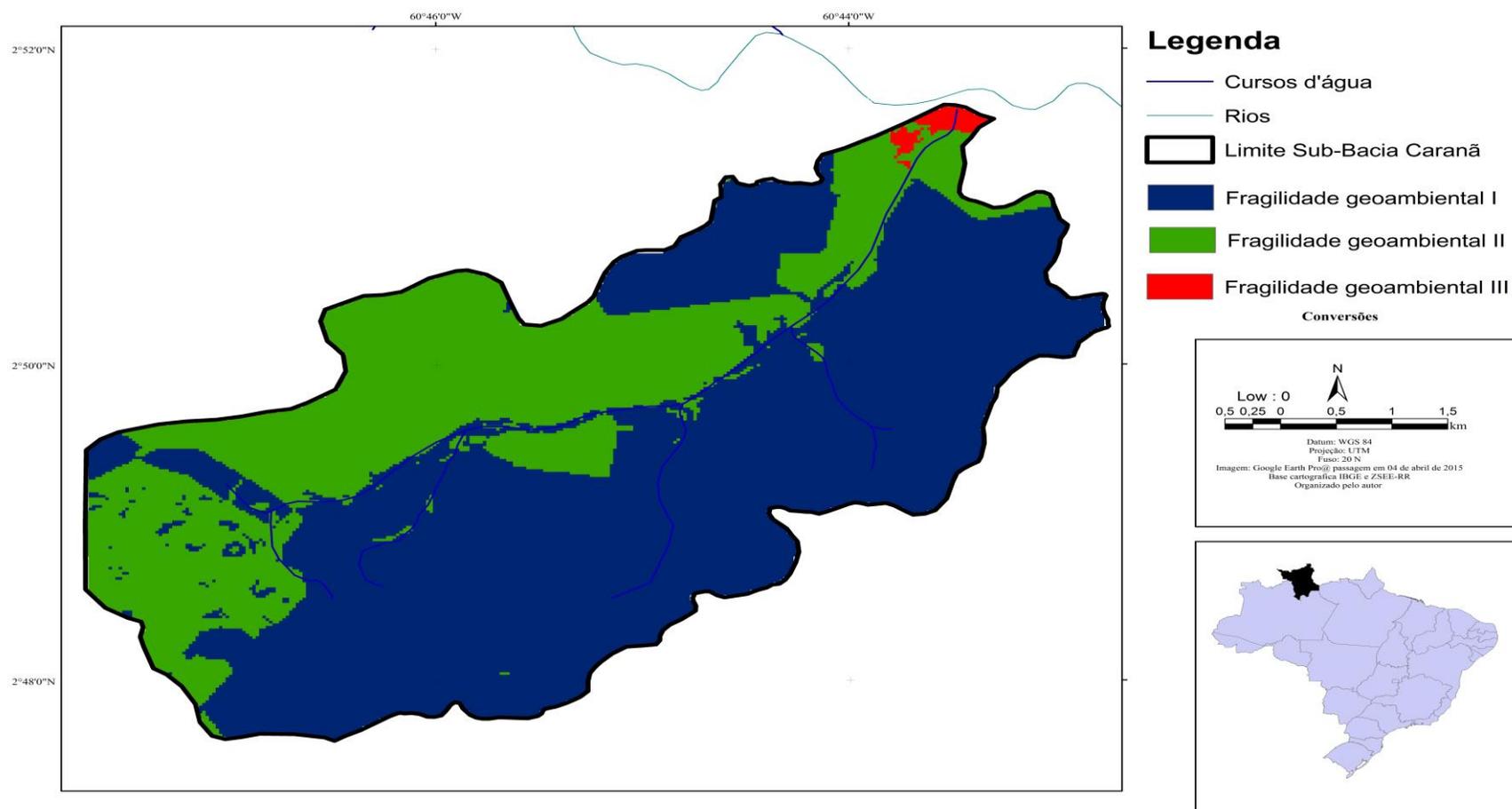
A unidade de Fragilidade geoambiental II equivale a média fragilidade estendesse do noroeste a sudoeste da bacia e compreende (39%) da área estudada. A presente unidade geoambiental possui apenas estabilidade a movimento de massa, já que o poder erosivo varia de médio a alto, fato que pode ser explicado pela implantação de pasto sem os devidos mecanismos de conservação do solo. Outro problema presente é a fragilidade a inundação, que por sua vez, deve estar relacionado a impermeabilização majoritária de áreas com baixo escoamento superficial.

A última unidade geoambiental de fragilidade III corresponde a uma pequena porção ao norte da área de estudo (1%). São problemas ambientais presentes: a alta fragilidade a movimento de massa, a intensa vulnerabilidade a erosão laminar e, ainda, são frágeis a inundação. O alto grau de fragilidade é explicado pelo uso do solo local, destinado a mineração precária de extração de areia, a formação geológica que é derivada de sedimentos inconsolidados, solos que por serem do tipo Gley, que dentre outras características, serem pouco friáveis. Cabe, ainda, ressaltar o fato da declividade apresenta característica adversa, uma vez que, em certas porções desta unidade são extremamente baixas, facilitando a ocorrência de inundação. Doravante, esta declividade abruptamente passa para valores superiores a 8 graus, o que sem os devidos métodos de conservação facilita a ocorrência de ravinas e movimento de massas.

Tabela 15. Valores para unidades geoambientais adaptado.

UNIDADES GEOAMBIENTAIS	FRAGILIDADE AMBIENTAIS	COR DA CLASSE
Fragilidade I (baixa)	Inundação	
Fragilidade II (média)	Inundação a erosão laminar a perda de solo	
Fragilidade III (alta)	Inundação, a erosão laminar a perda do solo e movimento de massa.	

Figura 13. Mapa de unidades geoambientais para a bacia do igarapé Caranã, Boa Vista (RR).



Elaboração: Roberto Cavalcante Barros,2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cruzamento dos temas de geologia, pedologia, uso da terra e declividade possibilitaram o mapeamento das fragilidades a movimento de massas e inundação, bem como a vulnerabilidade a erosão laminar. O cruzamento destes três temas possibilitou a espacialização das unidades de fragilidade geoambientais.

No referente a fragilidade a movimento de massas verificou-se que a classe de fragilidade ambiental para movimentos de massa mais representativa encontrada foi a baixa (78,67%), seguida da classe muito baixa (18,10%). Estas duas classes de fragilidade ambiental quando somadas suas porcentagens representam 96,17%. Nestas classes, a predominância de pouca e lenta atuação de processos mecânicos na dinâmica natural da paisagem. As classes de fragilidade ambiental alta (0,75%) e muito alta (0,50%), localizadas no quadrante nordeste da área de estudo, constituem porções do terreno com tendência a abrupta modelagem da paisagem, potencializados pela urbanização.

A fragilidade ambiental para inundação na bacia do igarapé Caranã apresenta como tendências predominantes, a média e a alta. Isto deve-se, sobretudo, por sua declividade que é plana na grande totalidade do terreno. Todavia, os solos argilosos em virtude da sua baixa permeabilidade e propriedades como adsorção que dificulta a drenagem e infiltração. Assim, área de estudo requer então de um efetivo controle para inundação.

Com relação a vulnerabilidade erosiva a área do igarapé Caranã, a predominância é a classe muito baixa a baixa (76%), seguida da média e alta (20%) e muito alta apenas (4%), coincidindo na mesma porção, área de fragilidade ambiental a movimentos de massa.

Por fim cruzando os tipos de fragilidade ambiental a bacia foi classificada em três unidades geoambientais, em decorrência disso temos dados que remetem a uma pequena porção nordeste da área de estudo para risco a inundação, movimentos de massa e erosão.

A unidade de fragilidade geoambiental I, ocupa quase toda a totalidade da bacia (60%) apresenta média fragilidade a inundação. Já a unidade de fragilidade geoambiental II que ocupa 39% da área de estudo, apresenta média a alta tendência a erosão e alta tendência a inundação. Necessitando de um controle para o tema fragilidade ambiental à inundação. Finalmente, A unidade de fragilidade geoambiental III, (1%) da área estudada, apresenta alta ou muito alta fragilidade a movimento de massas e a inundação, além de alta vulnerabilidade a perda de solo.

A pesquisa mostra que a principal fragilidade geoambiental encontrada na área está relacionada a inundação, sem deixar de observar que algumas áreas apresentam vulnerabilidade erosiva e movimento de massa. Apesar destas fragilidades se observa uma ocupação urbana intensa nestas áreas com a omissão dos poderes públicos e órgãos de controle ambiental. Esta problemática apontada pelo estudo, pode resultar em sérios problemas ambientais a curto prazo.

O estudo propõe como medidas mitigadoras para controle de inundação como prioridade em relação a erosão e movimento de massa. O controle dos processos de degradação associados a expansão urbana e a retirada da mata ciliar das áreas de próximas ao igarapé Caranã deve ser uma das primeiras medidas a serem adotadas.

Para o gerenciamento dos resíduos sólidos, pode-se organizar uma coleta eficiente, seletiva e uma disposição adequada. Se o município de Boa Vista caminhar nesse sentido, deverá ter menos problemas com inundações, então o que se propõe é uma gestão integrada da bacia. Em que, deva haver uma modificação no modo de modo como está sendo praticada a pecuária na área estudada, a ocupação e a construção de moradias e, por fim a forma como está sendo realizada a mineração de areia no local.

Portanto entende-se que a preservação ambiental dos recursos hídricos e das áreas de preservação permanente de uma região que compreende uma bacia hidrográfica há de levar em conta os interesses das comunidades existentes na região, de modo que as análises feitas procuram soluções adequadas tanto no que se refere a preservação do meio ambiente, como também na melhoria das condições econômicas e sociais das famílias que ali vivem.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G.H.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

ASSIS, A.S. **Fluxos d'água superficiais associados ao relevo côncavo do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Anais, v.4, ABGE/ABMS, 1995.

AUGUSTO FILHO, O. **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle**. In: BITAR, O.Y (Coordenador). Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Institutos de Pesquisas Tecnológicas (IPT), p.77-100, 1995.

BACK, P. **How nature works, the science of self-organized criticality**. Oxford University Press, 1997.

BARRETT, E. C.; CURTIS, L. **Introduction to environmental remote sensing**. Londres:Chapman & Hall. 1992.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5a ed. São Paulo: Ícone, 2005.

BOTELHO, R.G.M. **Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica**. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A S.; BOTELHO, R.G.M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 3ª ed. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, p. 269-300, 2007.

BRANCO, Samuel Murgel. **Água, origem, uso e preservação**. 2ª. ed.São Paulo; Moderna, 117p, 2003.

BRASIL, IBGE **Base Cartográfica Vetorial Contínua do estado de Roraima** escala 1:100.000.

BRASIL, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 31 de agosto de 1981.

BRASIL, Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Brasília, DF, 15 de setembro de 1965.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentadas pelo Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno. Brasília, DF, 19 de dezembro de 1997.

BRASIL, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF, 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL, A Lei nº 12.305/10, de 2 de agosto de 2010. Dispõe sobre Política Nacional dos Resíduos sólidos.

BRASIL, DNPM. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975 (Levantamento de Recursos Naturais, vol. 8).

CÂMARA, G., et.al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro, abril de 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S.; BARBOSA, C, C. F.; CAMARGO, E. C. G. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP , 1998.

CÂMARA, G., DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M.. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, ed. Pelos autores, São José dos Campos, INPE, 2004.

CEDAE. Companhia Estadual de água e esgotos do Rio de Janeiro. **Relatório de Controle de qualidade da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro**. Laboratório da Gerência do Controle de Qualidade, 2007.

CHELLY, R.; MANIESI. V. **Vulnerabilidade à erosão no município de Rio Branco, Acre: aplicação de técnicas de geoprocessamento**. In: Seminário internacional Amazônia e fronteiras do conhecimento, Núcleo de altos estudos amazônicos - NAEA/UFPA, Belém, 17pp., 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. A geografia física no estudo das mudanças ambientais. In: BECKER, B. K. (Org.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo – Rio de Janeiro, HUCITEC, p.334-345, 1995.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo, Edgard Blucher, 188p., 1980.

COELHO NETO, A.L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand, 1994.

COHRE, Centro pelo Direito à Moradia Contra Despejos. **Conflitos urbano-ambientais em capitais de amazônicas: Boa Vista, Belém, Macapá e Manaus**. Impressão: Gráfica Calábria, 2006.

CPRM. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Projeto Roraima Central**, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (inteiras), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-VC (parciais). Escala 1:500.000. Estado do Amazonas. Brasília: CPRM, 1999. CD-ROM.

CREPANI, E; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

DIAS, F.P.; HERMANN, M.L.P. **Análise da susceptibilidade a deslizamentos no bairro Saco Grande**. Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, Florianópolis: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, v.21. p.91–104, 2002.

Ducke, A. **As leguminosas da Amazônia brasileira**. In: Notas sobre a Flora Neotrópica - II. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Norte, Belém, Pará. 18: (2; | . ed. rev. e amp.) 248p, 1949.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. p.123-186. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2003.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos. São Paulo, 160p., 2008.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2.ed. São Paulo, Edgar Blucher Ltda, 1988.

GUERRA, A. T. Dicionário Geológico e Geomorfológico. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1966.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha (organizadores) 6 a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, Antônio Teixeira Guerra. **Novo dicionário Geológico-geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, Edgar Blucher Ltda, 1976.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, Edgar Blucher Ltda, 1983.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, Edgar Blucher Ltda, 1984.

IBGE – **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. IBGE. Rio de Janeiro. 1992.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia 2.ed.** Rio de Janeiro, 2007a. (Manuais Técnicos em Geociências, 4).

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo, p.131-152, ABGE, 1998.

JUNIPER, B.E.; ROBINS, R.J.; JOEL, D. M. **The Carnivorous Plants**. Academic Press, San Diego, 1989.

LEFEBVRE, Henri. **The production of space**. Oxford, UK: Blackwell, 1994. 454p.

LEOPOLD, L.B. **Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use**. USGS circ. 554, 18p, 1968.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 3. ed. United States of América: John Wiley & Sons, 1040 p, 1994.

LOPES, E.S.S. **Modelagem dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala 1:10.000.** Rio Claro, 276p. Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 2006.

MARZOLI, A., RENNE, P.R., PICCIRILLO, E.M., ERNESTO, M., BELLINI, G., DE MIN, A. **Extensive 200-million-year-old continental flood basalts of the Central Atlantic magmatic province.** Science 284, 616–618,1999.

MARINS, P.A.; PAIVA, E, M, TASSI. **A influência do assoreamento na variação dos níveis do reservatório do Vacacaí-Mirim/Santa Maria/RS,2002.**

MONTALVÃO, R.M.G et al. Geologia da Folha NA.20-Boa Vista e parte das folhas NA.21-Tumucumaque, NB.20-Roraima e NB.21. In: DNPM, **Projeto Radar na Amazônia,** Rio de Janeiro, Capítulo 1, Geologia. (Levantamento de Recursos Naturais, 8). 1975.

MORO, G.T. ; SOUZA, L.V.M.P.; ALMEIDA, E.S. **Levantamento da susceptibilidade a deslizamento e erosão em encostas – estudo de caso: Morro da Cruz - Itajaí – SC.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15 (SBSR), Curitiba, 2011.

OLIVEIRA, J. B de. **Pedologia Aplicada.** Piracicaba: FEALQ, 2005.

PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. et al. **Estimativa do Assoreamento do Reservatório do DNOS, em Santa Maria, RS.** In: XVII Congresso Nacional del Agua e II Simpósio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Santa Fé. Santa Fé: ABRH Digital, V.3 p.452-461,1998.

PEIXOTO, M.N.O.; MOURA, J.R.S.; SILVA, T.M. **Morfometria de cabeceiras de drenagem em anfiteatros e a retomada erosiva por voçorocamento (Bananal, SP).** In: Simpósio de geografia física aplicada, 3, Nova Friburgo (RJ), **Anais.** IGEO/UFRJ, 1989.

PELOGGIA, A.U.G. **O Homem e o Ambiente Geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo.** São Paulo, Xamã. 271 p. 1998.

REIS, N. J; FARIA M. S. G. de; MAIA, M. A. M. O quadro Cenozoico da porção norte-oriental do estado de Roraima. In: E.L. Klein, M.L. Vasquez & L.T. da Rosa-Costa (eds.); **Contribuição à Geologia da Amazônia**, v.3, SBG/Núcleo Norte, 2001. 317 p.

ROBINSON, DA E NAGHIZADEH, R. **The impact of cultivation practice and wheelings on runoff generation and soil erosion on the South Downs: some experimental results using simulated rainfall.** *Soil Use and Management*, 8, 4, 151-156, 1992.

ROCHA, Cezar Henrique Barra. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar.** Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000.

RODRIGUES, J.E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados (boçoroca).** São Carlos, 1982. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1982.

ROSA, G.G; GRACILIANO, SANTOS, A; DOS,R; PELUZIO; T.O DE M; MARIANO; **Utilização do método AHP para determinação de um modelo matemático para mapeamento de áreas de risco de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, Es.** Anais: XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Paraíba,2008.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, p.65, 1994.

SALGADO, C.M.; SANTOS, D.A.; PEIXOTO, M.N.O.; MOURA, J.R.S. **Suscetibilidade das coberturas sedimentas /pedológicas quaternárias à erosão superficial hídrica em cabeceiras de drenagem em anfiteatro – região de Bananal RJ).** Simpósio de Geografia Física Aplicada, 6, Goiânia. **Anais**, UFG, 1995.

SANDER, C.; L.; EVANGELISTA, R. A. DE O. ; SANTOS, M. L. DOS ; FERNANDEZ, O. V. Q. . **Intervenções antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista - RR.** *Acta Geografica*, v. 6, p. 59-84, 2012.

SANTANA, D.P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas.** Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 63p., 2003.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção.** São Paulo, Edusp, 2008.

SANTOS, V.M.N.; Escola, cidadania e novas tecnologias: o sensoriamento remoto no ensino. São Paulo, Paulinas, 2002.

SANTOS, M. **Sociedade e espaço: formação espacial com teoria e método.** In SANTOS, M. Espaço e sociedade. 2.ed. Petrópolis, Vozes, 1982. 156p.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado.** São Paulo: Hucitec, 1988, 124p.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and process.** Oxford: Oxford University Press, 264p. 1982.

SILVA, A. D.; SANDER, C; WANKLER, F. L.; JUNIOR. A. R, C, R. **Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista - RR nos anos de 1910 a 2014.** Rev. Geogr. Acadêmica v.9, n.2 (xii.2015).

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** Revista Geociências, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 24, n. 1, p. 43-53, 2005.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Análise Ambiental – Aplicações.** Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2004

SOJA, E.W. **Geografias Pós-modernas – A reafirmação do espaço na teoria social crítica.** Rio de Janeiro, Jorge Zahar Ed, 1993.

SOUZA, Carla Monteiro de; SILVA, Raimunda Gomes da. (org.) **Migrantes e migrações em Boa Vista: os bairros Senador Hélio Campos, Raiar do Sol e Cauamé.** Boa Vista: Editora da UFRR, 2006.

SOUZA, V; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Atlas dos Igarapés Urbanos de Boa Vista-Roraima**. 01. ed. Boa Vista: Editora da UFRR. V. 1. 62p,2010.

SOUZA, V. ; VERAS, A. T. R . **Panorama socioambiental do Igarapé Caraná**, Boa Vista-Roraima. Acta Geográfica (UFRR), v. 6, p. 85, 2012.

SOUZA, V. ; VERAS, A. T. R . **Relatório MPE Final sobre o Igarapé Caraná**.

STEIN, D.P. **Diagnóstico de erosão**. IV Simpósio nacional de controle de erosão, Anais, Bauru, SP., 1995.

SUERTEGARAY, D.M.A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta nova revista eletrônica de geografia e cienciassociales**, Barcelona, n.93, v.1, 2001.

TEODORO, V.L.I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D.J.L.; FULLER, B.B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, 2007.

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

TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E. A. et.al. **Sistema de Simulação Precipitação-Vazão IPHS1**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 66p, 1989.

VENDRAME, I. F. LOPES W. A. B. **Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial da bacia do Pararangaba**. Anais XII Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto. Goiânia, INPE, 2005

VIEIRA, N.M. **Estudo geomorfológico das boçorocas**. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia Ciência e Letras, FFCL, Franca-SP, 1973.