



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



JAMER ANDRADE DA COSTA

“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE APLICADO AOS PLANOS DE DEFESA CIVIL EM ÁREAS DE RISCO NO ESTADO DO PARÁ UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG), CASO: CIDADE DE MARABÁ”

Belém, PA.
2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE APLICADO AOS PLANOS DE DEFESA CIVIL EM ÁREAS DE RISCO NO ESTADO DO PARÁ UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG), CASO: CIDADE DE MARABÁ”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, orientado pelo professor Dr. Tony Carlos Dias da Costa.

Jamer Andrade da Costa

Belém, PA.
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Pará, Belém/PA

Costa, Jamer Andrade da, 1970-

Desenvolvimento de um sistema de alerta de enchente aplicado aos planos de defesa civil em áreas de risco no estado do Pará utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG), caso: cidade de Marabá / Jamer Andrade da Costa ; orientador, Tony Carlos Dias da Costa. – 2012.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2012.

1. Sistemas de alerta de inundações – Marabá (PA). 2. Previsão de inundações – Marabá (PA). 3. Modelos hidrológicos – Marabá (PA). I. Título

CDD - 23. ed. 363.3493

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE
APLICADO AOS PLANOS DE DEFESA CIVIL EM ÁREAS DE RISCO
NO ESTADO DO PARÁ UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS (SIG), CASO: CIDADE DE MARABÁ**

AUTOR:

JAMER ANDRADE DA COSTA

Dissertação defendida e aprovada no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

APROVADA EM: 02/03/2012

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa
Orientador - PPGEC/UFPA

Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha
Membro Externo – PPGCA/UFPA

Prof. Dr. Claudio José Cavalcante Blanco
Membro Interno – PPGEC/UFPA

Prof. Dr. Ronaldo L. R. Mendes
Membro Interno – PPGEC/UFPA

Visto:

Prof. Dr. Claudio José Cavalcante Blanco
Coordenador do PPGEC/ITEC/UFPA

Dedico este trabalho, em especial, aos meus pais, Rosa e Juarez (in memoriam), meus maiores exemplos de vida e dedicação, em prova do meu eterno amor e admiração.

À minha esposa, Andréa, por ser uma pessoa tão especial na minha vida.

Aos meus filhos, Enzo e Luiza, a minha grande motivação para tudo.

E aos meus irmãos, pela família que somos.

“Portanto, quem ouve estas minhas palavras e as põe em prática é como um homem sensato, que construiu sua casa sobre a rocha. Caiu a chuva, vieram as enchentes, os ventos deram contra a casa, mas a casa não desabou, porque estava construída sobre a rocha. Por outro lado, quem ouve estas minhas palavras e não as põe em prática é como um homem sem juízo, que construiu sua casa sobre a areia. Caiu a chuva, vieram as enchentes, os ventos sopraram e deram contra a casa, e ela desabou, e grande foi a sua ruína!”

(São Mateus 07: 24-27)

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação representa uma importante conquista, na qual muitos profissionais e pessoas amigas participaram. Gostaria de expressar a todos o meu profundo agradecimento, e em especial àqueles, cuja ajuda foi fundamental para as ideias e a materialização desta dissertação:

Agradeço primeiramente a **Deus**, por tudo que sou e que me deu vida para chegar até aqui, permitindo que, de uma forma ou de outra, este trabalho possa de alguma maneira melhorar e até salvar vidas;

Ao Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa, amigo e orientador, profissional que muito admiro e incentivador e que me deixou livre para a escolha de meu próprio trabalho;

Ao Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia-CENSIPAM, pela concessão do afastamento das atividades e a todos os colegas que durante este período me ajudaram com suas contribuições. Em especial, ao amigo Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha, grande incentivador, e à turma da Divisão de Sensoriamento Remoto. Gostaria também de agradecer às seguintes pessoas: Marisa, Marcus, Juliana, Jakeline, Sadeck, Ulisses, Manoel, Sergio, Gustavo, Nicola, Orleno, Jaci, Carlos Alberto, Aluizio, Liliane, Luis Lopes, Adriana, Jully, Isa e Larissa.

Ao Corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia pelos ensinamentos e pela compreensão. Em especial, ao Prof. Dr. Claudio Blanco e aos funcionários da secretaria do PPGEC, o meu muito obrigado;

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa de estudo, durante os meus primeiros estudos na pós-graduação, ainda na Geologia, que foram fundamentais para o meu aprendizado;

À Defesa Civil do Estado do Pará, pelas informações fornecidas;

Ao Instituto Federal de Educação Tecnológica do Pará pela grande colaboração, pelo empréstimo do GPS Geodésico e pela importante presença em nossa região, formando profissionais na área de Geotecnologia;

Ao governo do Canadá, através Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional – CIDA/ACCC, que possibilitou o aprendizado em banco de dados e programação em **avenue** no Collège de Limoilou - Quebec –

Canadá, ferramentas essenciais utilizadas neste trabalho. Em especial agradeço aos professores e companheiros Pierre Paradise e André.

Aos colegas da Terra Meio Ambiente pelo companheirismo e, em especial, expresso meu agradecimento a Daniel, Robson e Marcelo pela grande ajuda;

Aos amigos e professores do IFET-Pará, João Augusto Barradas e Augusto (Bem-te-vi): vocês são fora de série! Muito obrigado mesmo pela grande ajuda que me deram e pelo companheirismo, marca registrada de vocês;

Aos alunos do IFET Wendel Silva e Dirceu pela ajuda durante o trabalho de campo em Marabá, sem a participação de vocês teria sido impossível a coleta de pontos;

Ao servidor do CENSIPAM, Pedro Alberto Moura Rolim, pelo trabalho contínuo de levantamento dos dados das réguas linimétricas, verificando a consistência das informações e geração dos modelos hidrológicos para os rios da região amazônica;

A minha irmã, Marcia Huber pela importante contribuição na revisão deste trabalho e para Luzia Jucá pela ajuda no abstract.

Ao amigo de longa data, Flávio Altieri, exemplo de profissional, pelas grandes conquistas e discussões, o meu muito obrigado;

Aos amigos que sempre estiveram à disposição Ronaldo Lopes e Francisco Ribeiro, professores da UFPa, parceiros a quem agradeço ajuda e troca de informações;

SUMÁRIO

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1. | OBJETIVO GERAL..... | 27 |
| 1.1.1. | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 27 |
| 1.1.2. | HIPÓTESES | 27 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 28 |
| 2.1. | UM FUTURO EM RISCO: AUMENTO DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA..... | 28 |
| 2.2. | O AUMENTO DA POPULAÇÃO MUNDIAL..... | 30 |
| 2.3. | OCUPAÇÃO DA AMAZÔNIA..... | 32 |
| 2.3.1. | CICLO DA BORRACHA NA AMAZÔNIA..... | 34 |
| 2.3.2. | DESMATAMENTO..... | 34 |
| 2.3.3. | INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NO REGIME HIDROLÓGICO | 35 |
| 2.3.4. | O PROBLEMA, MITIGAÇÃO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES | 36 |
| 2.4. | CICLO HIDROLÓGICO | 38 |
| 2.5. | BACIA HIDROGRÁFICA E SUA IMPORTÂNCIA | 42 |
| | • NATUREZA CLIMÁTICA | 45 |
| | - INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO | 45 |
| | - DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO..... | 45 |
| | - RECORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO..... | 45 |
| | • FISIAGRÁFICOS | 45 |
| | - ÁREA..... | 45 |
| | - FORMA | 45 |
| | - PERMEABILIDADE DO SOLO | 47 |
| | - TOPOGRAFIA | 47 |
| | - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA BACIA | 48 |
| | - CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DA COBERTURA VEGETAL..... | 48 |
| | - ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS..... | 48 |
| | - ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS EM ÁREAS URBANAS..... | 49 |

| | |
|--|----|
| - ESCOAMENTO SUPERFICIAL E ALTERAÇÃO NA COBERTURA VEGETAL..... | 49 |
| •OBRAS HIDRÁULICAS | 52 |
| - BARRAGEM | 52 |
| - RETIFICAÇÃO DO CANAL | 52 |
| •CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS..... | 52 |
| - LATITUDE..... | 52 |
| - PROXIMIDADE DO MAR..... | 52 |
| - ALTITUDE..... | 52 |
| - VEGETAÇÃO..... | 52 |
| - VARIAÇÃO DIURNA (TEMPO)..... | 53 |
| 2.6. ENCHENTES E SEUS EFEITOS..... | 53 |
| 2.7. DESASTRES NATURAIS | 65 |
| 2.8. AQUECIMENTO GLOBAL E VARIABILIDADE CLIMÁTICA | 66 |
| 2.9. PANORAMA MUNDIAL, NACIONAL E LOCAL | 68 |
| 2.10. O PAPEL DAS GEOTECNOLOGIAS | 73 |
| 2.11.1. TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA | 74 |
| 2.11.2. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS) | 74 |
| 2.11.3. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) / MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT) | 77 |
| 2.11.4. SENSORIAMENTO REMOTO | 77 |
| 2.11.5. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG | 80 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODO | 83 |
| 3.1. SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA | 84 |
| 3.2. MATERIAIS | 88 |
| 3.2.1. BASES VETORIAIS..... | 89 |
| 3.2.2. IMAGENS DE SATÉLITES | 89 |
| 3.2.3. DADOS HISTÓRICOS FLUVIOMÉTRICOS..... | 89 |
| 3.2.4. EQUIPAMENTOS DE POSICIONAMENTO GLOBAL POR SATÉLITE | 89 |
| 3.3. MÉTODOS..... | 90 |
| 3.3.1. MODELO HIDROLÓGICO | 91 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 3.3.1.1. | MODELO DE PREVISÃO PARA MARABÁ | 103 |
| 3.3.2. | LEVANTAMENTO DE CAMPO | 104 |
| 3.3.2.1. | LEVANTAMENTO DE CAMPO COM GPS GEODÉSICO | 104 |
| 3.3.3. | DEFINIÇÃO DO PROJETO DE SIG | 128 |
| 3.3.3.1. | SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS | 128 |
| 3.3.3.1.1. | MODELO DIGITAL DE TERRENO | 129 |
| 3.3.3.1.1. | DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ALERTA POROROCA NO ARCVIEW 3.3..... | 134 |
| 3.3.3.2. | SIMULAÇÃO | 139 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 142 |
| 4.1 | BACIA HIDROGRÁFICA DO ARAGUAIA-TOCANTINS | 142 |
| 4.1.1. | BACIA DO RIO TOCANTINS | 143 |
| 4.1.2. | BACIA DO RIO ARAGUAIA | 145 |
| 4.2. | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA | 145 |
| 4.2.1. | ORIGEM DA OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 145 |
| 4.2.2. | ÁREA DO EXPERIMENTO: MARABÁ PIONEIRA | 148 |
| 4.2.3. | ASPECTOS FÍSICO-TERRITORIAIS | 150 |
| 4.2.3.1. | LOCALIZAÇÃO | 151 |
| 4.2.3.2. | LIMITES MUNICIPAIS | 151 |
| 4.2.3.3. | TOPOGRAFIA | 151 |
| 4.2.3.4. | GEOLOGIA E RELEVO..... | 151 |
| 4.2.3.5. | HIDROGRAFIA..... | 152 |
| 4.2.3.6. | CLIMA..... | 158 |
| 4.2.4. | ENCHENTES EM MARABÁ | 159 |
| 4.3. | A DEFESA CIVIL | 168 |
| 4.4. | PORQUE UM SIG PARA MARABÁ | 173 |
| 4.5. | BANCO DE DADOS | 177 |
| 4.6. | ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO | 178 |
| 5. | CONCLUSÕES | 182 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 183 |

RESUMO

A presente dissertação desenvolveu um Sistema de Alerta de Enchentes para a Cidade de Marabá, localizada na confluência dos rios Itacaiúnas e Tocantins, a 440 km da cidade de Belém, capital do Estado do Pará. O Sistema de Alerta de Enchentes foi desenvolvido com base no modelo hidrológico MOD-4B incorporado a um Sistema de Informações Geográficas. Esse sistema permite prever as variações do nível do Rio Tocantins ao longo do ano, de modo a acompanhar a evolução da cheia com antecedência de 4 dias, o que torna possível uma ação eficiente da defesa civil. O modelo de previsão utilizou como referência as réguas linimétricas localizadas nos rios Tocantins e Araguaia nas cidades de Carolina e Conceição do Araguaia, distantes aproximadamente 225 e 270 km, respectivamente, da cidade de Marabá. O sistema utiliza o **software** de geoprocessamento ArcView 3.3, que teve implementada uma interface desenvolvida através da linguagem de programação orientada a objetos **Avenue**, com a finalidade de rodar o aplicativo do modelo hidrológico. O uso de menus e janelas customizados do sistema possibilitou o acesso a dados espaciais e tabelas de dados relacionais e/ou banco de dados cadastral, além de módulos de análise espacial e de visualização de dados geográficos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), possibilitando a previsão de enchentes na forma de mapas, tabelas e relatórios com a indicação das áreas inundadas para os períodos de 4, 3, 2 e 1 dia de antecedência do evento de enchente. O Sistema permitiu identificar os imóveis e as ruas atingidos, e possibilitará através de levantamentos futuros quantificar a população afetada e os prejuízos causados pelo desastre, facilitando que a defesa civil execute planos de ação para enfrentamento eficiente antes, durante e depois da ocorrência da enchente.

Palavras-Chave: Modelagem, Sistema de Informações Geográfica, Enchentes, Marabá.

ABSTRACT

This dissertation develops a Flood Warning System for the city of Marabá, located at the confluence of Tocantins and Itacaiúnas Rivers, 400 kilometers south from Belém, capital of the State of Pará (Brazil). The Flood Warning System is based on the hydrological model MOD-4B incorporated into a Geographic Information System. This system forecasts changes in the level of the Tocantins River throughout the year. It monitors the initiation of the flood 4 days in advance, resulting in more efficient Civil Defense actions. As reference, the forecasting model used the limnimeter poles located on the Tocantins and Araguaia Rivers, in the towns of Carolina and Conceição do Araguaia, respectively about 225 and 270 kilometers south from the city of Marabá. The system uses the GIS software ArcView 3.3, which was implemented through an interface developed through an object-oriented programming language called Avenue to run the application of the hydrological model. The use of windows and menus adapted to the model grants access to spatial data and relational database tables and / or record database. It also provides modules for spatial analysis and visualization of geographic data in a Geographic Information System (GIS), which forecasts flooding in the form of maps, charts and reports, showing the flooded areas for periods of 4, 3, 2 and 1 day before the occurrence of flooding. The system also identifies the affected streets and buildings, quantifying the affected population and the damages caused. With this, the Civil Defense can execute efficient action plans before, during and after the flooding.

Keywords: Modeling, Geographic Information System-GIS, Flood Warning System, Marabá.

ABSTRAKT

Diese Dissertation entwickelte ein Flood Warning System für die Stadt Marabá, located at Zusammenfluss der Flüsse Tocantins und Itacaiúnas, 400 km entfernt von Belém, der Hauptstadt des Bundesstaates Pará. The Flood Warning System wurde auf Basis des Modells hydrologischen Mod-4B in einem geografischen Informations System. This System integriert entwickelte können Sie Änderungen in der Ebene des Rio Tocantins das ganze Jahr vorhersagen. Um die Flut mit 4 Tage im Voraus zu überwachen, was eine größere Effizienz der Civil Defense Aktionen. Die Vorhersage-Modell als Referenz verwendet die ruler limnimeters auf dem Tocantins und Araguaia Flüsse, entfernten rund 225 und 270 km beziehungsweise von der Stadt Maraba. Das System nutzt die GIS-Software ArcView 3.3, die über eine Schnittstelle implementiert wurde entwickelt Programmiersprache objektorientierte Avenue, um die Anwendung aus dem hydrologischen Modell laufen. Die Verwendung von Fenstern und Menüs angepasst, zu modellieren, erleichtern den Zugang zu Geodaten und relationalen Datenbank-Tabellen und/oder Kataster-Datenbank, sowie Module für die räumliche Analyse und Visualisierung von Geodaten in einem Geographischen Informations System (GIS), das die Vorhersage ermöglicht Überschwemmungen in Form von Karten, Diagrammen und Berichten, welche den überfluteten Gebieten für die Dauer von 4, 3, 2 und 1 Tag vor dem Auftreten der flooding. The System identifiziert auch die betroffenen Straßen und Gebäude, konnte eine Quantifizierung der betroffenen Bevölkerung und der Schaden verursacht hat. Aktivieren Zivilschutz auszuführen Aktionspläne, um effizient gerecht, vor, während und nach dem Auftreten von Überschwemmungen.

Stichwörter: Modeling, Geographic Information System-GIS, Flood Warning System, Marabá.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL. | 33 |
| FIGURA 2 - CANAL CONTAMINADO USADO INADEQUADAMENTE E EXPONDO OS MORADORES A RISCO E A DOENÇAS (FOTOGRAFIA: CANAL DA QUINTINO COM A TRAV. ENG. FERNANDO GUILHON EM BELÉM-PA - JAMER COSTA - 17/04/2011)..... | 37 |
| FIGURA 3 - CICLO HIDROLÓGICO (MAGAZINE BLOGGER THEME, LK, 2011)..... | 38 |
| FIGURA 4 - MUDANÇAS COM O DESENVOLVIMENTO E SUAS RELAÇÕES COM O FLUXO HDROLÓGICO | 40 |
| FIGURA 5 - DIFERENÇA CAUSADA NO HIDROGRAMA DE SAÍDA DA BACIA ANTES E APÓS A URBANIZAÇÃO DA ÁREA (TUCCI, 2003)..... | 41 |
| FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA DERIVADA (FIGUEROA E NOBRE, 1990)..... | 42 |
| FIGURA 7 - BACIAS COM A MESMA ÁREA, COM FORMAS DIFERENTES E RECEBENDO A MESMA QUANTIDADE DE CHUVA, LEVAM TEMPO DE DESCARGAS DIFERENTES. A BACIA C ESCOA MAIS RAPIDAMENTE E A BACIA A LEVARÁ MAIS TEMPO PARA ESCOAR. | 46 |
| FIGURA 8 - MODELO REPRESENTATIVO DAS ALTERAÇÕES DOS NÍVEIS DO RIO OCASIONANDO AS ENCHENTES E INUNDAÇÕES EM MARABÁ. FONTE: JAMER COSTA 2011 | 53 |
| FIGURA 9 - SEQUÊNCIA CÍCLICA DAS FASES DE GERENCIAMENTO DE DESASTRES | 63 |
| FIGURA 10 - EXEMPLOS DE OBRAS ESTRUTURAIS. | 64 |
| FIGURA 11 - RELAÇÕES ENTRE OS CONCEITOS DE RISCO, PERIGO E DESASTRE..... | 65 |
| FIGURA 12 - TIPOS DE RISCOS..... | 69 |
| FIGURA 13 - RELAÇÃO DE RISCO E DESASTRES NATURAIS RELACIONADOS COM A GEODINÂMICA TERRESTRE EXTERNA DO PLANETA TERRA. | 70 |
| FIGURA 14 - OS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA, INDICANDO O AQUECIMENTO E O RESFRIAMENTO ANÔMALO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS OCEANO PACÍFICO EQUATORIAL CENTRAL E ORIENTAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS NA AMERICA DO SUL. FONTE: ADAPTADO DE HEIGHT OF OCEAN SURFACE. TOPEX/POSEIDON - JASON1 DATA (NOV.97 AND FEB.99) - NASA/JPL..... | 71 |
| FIGURA 15 - INFLUÊNCIA DA FALTA ORDENAMENTO URBANO NA ACELERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL. | 72 |
| FIGURA 16 - SISTEMAS GLOBAIS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE..... | 75 |
| FIGURA 17 - O MODELO DIGITAL DE TERRENO COMO PARTE INTEGRANTE DE UM SIG..... | 78 |
| FIGURA 18 - ETAPAS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS..... | 79 |
| FIGURA 19 - FASES DE UM PROJETO DE SIG. | 81 |
| FIGURA 20 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. | 84 |
| FIGURA 21 - FASES DA SIMULAÇÃO (ADAPTADO DE TUCCI, 2005)..... | 87 |
| FIGURA 22 - PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE. | 90 |
| FIGURA 23 - MÉTODOS E MODELOS HIDROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE | 93 |
| FIGURA 24 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS RÉGUAS DE MARABÁ, CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA E CAROLINA. | 95 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 25 – ESBOÇO DE DESLOCAMENTO EM CANAL ABERTO NA SUB-BACIA CAROLINA/CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA/MARABÁ, UTILIZADO PARA A CRIAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA PARA A CIDADE DE MARABÁ (B)..... | 96 |
| FIGURA 26 - CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE AS MEDIDAS OBSERVADAS EM MARABÁ E CAROLINA. | 99 |
| FIGURA 27 - CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE AS MEDIDAS OBSERVADAS EM MARABÁ E CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA. | 99 |
| FIGURA 28 - MODELO HIDROLÓGICO MOD-4B ADOTADO PARA O SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE PARA A CIDADE DE MARABÁ. | 103 |
| FIGURA 29 - INTERFACE DO APLICATIVO WEB POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO (IBGE)..... | 105 |
| FIGURA 30 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS GEODÉSICOS COLETADOS..... | 127 |
| FIGURA 31 – PROJETO CONCEITUAL PARA O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG). | 128 |
| FIGURA 32 - IMAGEM DE SATÉLITE SOBREPOSTO COM A BASE CARTOGRÁFICA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE MARABÁ/COHAB-PA. | 131 |
| FIGURA 33- EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO. CURVAS DE NÍVEIS (A), MODELO DE GRADE REGULAR REPRESENTADO COMO UMA IMAGEM SOMBREADA (B), MODELO DE GRADE IRREGULAR TRIANGULAR (C) E MODELO DE SUPERFÍCIE COLORIDA (D). ELABORAÇÃO: JAMER COSTA | 132 |
| FIGURA 34 - MODELO DIGITAL DO TERRENO EMPREGADO NO SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE. | 133 |
| FIGURA 35 - MODELO DIGITAL DO TERRENO DO TIPO SUPERFÍCIE UTILIZANDO A IMAGEM DE SATÉLITE PARA O MODELO 3D, COM EXAGERO VERTICAL ACENTUADO..... | 134 |
| FIGURA 36 - TELA DE ABERTURA DO SISTEMA DE ALERTA POROROCA. | 135 |
| FIGURA 37 - MENU DE OPÇÕES DO SISTEMA POROROCA. | 137 |
| FIGURA 38 - MENU DA ENTRADA DE DADOS E DE VISUALIZAÇÃO DO RESULTADO DA PREVISÃO. | 137 |
| FIGURA 39 - RESULTADO DA PRIMEIRA SIMULAÇÃO, PREVENDO UMA COTA DE 79,95 METROS..... | 140 |
| FIGURA 40 - RESULTADO DA SEGUNDA SIMULAÇÃO, PREVENDO UMA COTA DE 82,58 METROS. | 140 |
| FIGURA 41 - RESULTADO DA TERCEIRA SIMULAÇÃO, MOSTRANDO OS VALORES DA OCORRÊNCIA PARA A MAIOR CHEIA JÁ REGISTRADA EM MARABÁ, PREVENDO UMA COTA DE 89,83 METROS..... | 141 |
| FIGURA 42 - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE 1920 A 1928 NA CIDADE DE MARABÁ-PA. | 146 |
| FIGURA 43 - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE 1920 A 1970 NA CIDADE DE MARABÁ-PA. | 147 |
| FIGURA 44 - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO URBANA ATÉ 2004 NA CIDADE DE MARABÁ-PA. | 147 |
| FIGURA 45 - PERÍMETRO URBANO MUNICIPAL DE MARABÁ. FONTE: PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE MARABÁ - PMM (2006). | 149 |
| FIGURA 46 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DE TOPOGRAFIA DO MUNICÍPIO DE MARABÁ (FONTE: MOSAICOS DAS FOLHAS DSG-IBGE 1:100.000)..... | 153 |
| FIGURA 47 - MAPA TOPOGRÁFICO DA CIDADE DE MARABÁ-PA (FONTE: COSAMPA/UFPA)..... | 154 |
| FIGURA 48 - MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE MARABÁ, SEGUNDO CPRM (1996)..... | 155 |
| FIGURA 49 - MAPA HIDROGEOLÓGICO DA CIDADE DE MARABÁ (FONTE: CPRM, 1996)..... | 156 |
| FIGURA 50 - MAPA HIDROLÓGICO DO MUNICÍPIO DE MARABÁ. (FONTE: CPRM, 1996)..... | 157 |
| FIGURA 51 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE HABITANTES NO MUNICÍPIO DE MARABÁ..... | 159 |
| FIGURA 52 - COTA MÁXIMAS ATINGIDAS PELAS ENCHENTES ENTRE 1976 A 2011. (FONTE: ANA, 2011). | 164 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 53 - COMPOSIÇÃO DO CONSELHO NACIONAL DE DEFESA CIVIL - CONDEC COM OS RESPECTIVOS NÚMEROS DE REPRESENTANTES..... | 170 |
| FIGURA 54 - ORGANOGRAMA DO SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL (SINDEC)..... | 171 |
| FIGURA 55 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA CIDADE DE MARABÁ COM SEUS BAIRROS E FOLHAS, SEGUNDO A PREFEITURA MUNICIPAL DE MARABÁ. | 174 |
| FIGURA 56 - CIDADE DE MARABÁ (FONTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARABÁ)..... | 175 |
| FIGURA 57 - BOLETIM HIDROLÓGICO DO SIPAM..... | 176 |
| FIGURA 58 - SUGESTÃO DAS INFORMAÇÕES MÍNIMAS NECESSÁRIAS SOBRE CADA UM DOS LOTES E DAS FAMÍLIAS PARA O SISTEMA DE ALERTA DE ENCHENTE..... | 177 |
| FIGURA 59 - MODELO DE ALERTA VIA SMS. | 178 |
| FIGURA 60 - ACOMPANHAMENTO DO MODELO MOD-4B NO PICO DA ENCHENTE, EM MAIO DE 2009. | 179 |
| FIGURA 61 - ACOMPANHAMENTO DO MODELO MOD-4B DURANTE O PERÍODO DE 15/05/2009 ATÉ O DIA 01/06/2009, NO PERÍODO EM QUE AS ÁGUAS JÁ ESTÃO DESCENDO..... | 179 |
| FIGURA 62 - LOCALIZAÇÃO DA UHE DE ESTREITO, LOCALIZADA NA DIVISA DO MARANHÃO COM O TOCANTINS E A JUSANTE DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE CAROLINA. FONTE: CESTE (2011) | 180 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | |
|---|-----|
| FOTOGRAFIA 1 - FOTO DO CENTRO DE PARIS, NA “GARE DE LYON” DURANTE AS ENCHENTES DE 1910..... | 62 |
| FOTOGRAFIA 2 - GALERIAS SUBTERRÂNEAS DE PARIS COM CAPACIDADE DE ARMAZENAR 900.000M³. FONTE: (DONZIER, 2010) | 62 |
| FOTOGRAFIA 3 - EXEMPLO DE MORADIAS EM ÁREA DE RISCO EM BELÉM (IGARAPÉ TUCUNDUBA). | 72 |
| FOTOGRAFIA 4 - EXEMPLO DE MORADIAS EM ÁREA DE RISCO EM MARABÁ (CABELO SECO)..... | 73 |
| FOTOGRAFIA 5 - CONJUNTOS DE RÉGUAS UTILIZADAS PARA MEDIR AS MUDANÇAS DO NÍVEL DO RIO TOCANTINS EM MARABÁ-PA. | 101 |
| FOTOGRAFIA 6 - MARCO GEODÉSICO MG85 (ASR) UTILIZADO COM ESTAÇÃO BASE PARA OS LEVANTAMENTOS DE CAMPO. | 105 |
| FOTOGRAFIA 7 - PONTO DA ESTAÇÃO BASE DE COLETAS DE DADOS DGPS - QUARTEL DA MARINHA DO BRASIL FOTOGRAFIA: JAMER COSTA (2009) | 108 |
| FOTOGRAFIA 8 - RÉGUAS DE MONITORAMENTO DO NÍVEL DO RIO TOCANTINS. | 109 |
| FOTOGRAFIA 9 - PONTO DE CONTROLE 1, LOCALIZADO NO REGIÃO DO CABELO SECO, MAIS PRECISAMENTE NA VILA RATO, SITUADA NA CONFLUÊNCIA DO RIO TOCANTINS COM O RIO ITACAIÚNAS. | 110 |
| FOTOGRAFIA 10 - PONTO DE CONTROLE 2, LOCALIZADO ATRÁS DA ESCOLA NO CABELO SECO..... | 111 |
| FOTOGRAFIA 11 - PONTO DE CONTROLE 3, CRUZAMENTO DE VIAS. | 112 |
| FOTOGRAFIA 12 - PONTO DE CONTROLE 4, LOCALIZADO NA RUA ÀS MARGENS DO RIO ITACAIÚNAS. | 113 |
| FOTOGRAFIA 13 - PONTO DE CONTROLE 5, ÀS MARGENS DO RIO TOCANTINS..... | 114 |
| FOTOGRAFIA 14 - PONTO DE CONTROLE 6, ÀS MARGENS DO RIO TOCANTINS..... | 115 |
| FOTOGRAFIA 15 - PONTO DE CONTROLE 7, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 116 |
| FOTOGRAFIA 16 - PONTO DE CONTROLE 8, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 117 |
| FOTOGRAFIA 17 - PONTO DE CONTROLE 9, ÀS MARGENS DO RIO TOCANTINS..... | 118 |
| FOTOGRAFIA 18 - PONTO DE CONTROLE 10, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 119 |
| FOTOGRAFIA 19 - PONTO DE CONTROLE 11, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 120 |
| FOTOGRAFIA 20 - PONTO DE CONTROLE 12, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 121 |
| FOTOGRAFIA 21 - PONTO DE CONTROLE 13, ÀS MARGENS DO RIO ITACAIÚNAS. | 122 |
| FOTOGRAFIA 22 - PONTO DE CONTROLE 14, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 123 |
| FOTOGRAFIA 23 - PONTO DE CONTROLE 15, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 124 |
| FOTOGRAFIA 24 - PONTO DE CONTROLE 16, ÀS MARGENS DO RIO ITACAIÚNAS. | 125 |
| FOTOGRAFIA 25 - PONTO DE CONTROLE 17, LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DE VIAS PÚBLICAS. | 126 |
| FOTOGRAFIA 26 - VISTA AÉREA DE PARTE DA REGIÃO DENOMINADA MARABÁ PIONEIRA. DETALHE DA CONFLUÊNCIA DOS RIOS TOCANTINS E ITACAIÚNAS. | 148 |
| FOTOGRAFIA 27 - FOTOGRAFIA DA MORADIA LOCALIZADA NA VILA DO RATO, NA CONFLUÊNCIA DOS RIOS ITACAIÚNAS COM O TOCANTINS (A), E DO ALOJAMENTO IMPROVISADO DOS DESABRIGADOS EM 2011 (B)..... | 165 |
| FOTOGRAFIA 28 - ENCHENTE DE 1926, QUANDO FOI DECRETADO ESTADO DE CALAMIDADE PÚBLICA. | 166 |

| | |
|---|-----|
| FOTOGRAFIA 29 - FOTOGRAFIA AÉREA DA REGIÃO DO CABELO SECO DURANTE A CHEIA DE 1997 ONDE O NÍVEL DO RIO ATINGIU DE 14,23 M, CORRESPONDENDO A COTA TOPOGRÁFICA DE 86,11 METROS... | 166 |
| FOTOGRAFIA 30 - ORLA DE MARABÁ EM 12/04/2006..... | 167 |
| FOTOGRAFIA 31 - ÁREA ALAGADA ÀS MARGENS DO RIO ITACAIÚNAS, NA CIDADE DE MARABÁ, EM 26/03/2011. (FONTE: JAMER COSTA)..... | 167 |
| FOTOGRAFIA 32 - ALOJAMENTO AOS DESABRIGADOS EM 2010. (FONTE: JAMER COSTA -27/03/2010)..... | 168 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| GRÁFICO 1- EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO MUNDIAL SEGUNDO ESTIMATIVA DA ONU..... | 32 |
| GRÁFICO 2 - DIFERENÇA ENTRE A VAZÃO DE UM RIO EM TERRENOS COM SOLOS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS..... | 47 |
| GRÁFICO 3 - OCORRÊNCIA RELATIVA E ABSOLUTA DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL ENTRE 1900 A JUNHO DE 2011. (FONTE: EM- DAT/OFDA/CRED 2011). | 54 |
| GRÁFICO 4 - NÚMERO DE AFETADOS POR DESASTRES NATURAIS NO ANO DE 2008 NO ESTADO DO PARÁ (FONTE: DEFESA CIVIL DO ESTADO DO PARÁ - HTTP://WWW.DEFESACIVIL.GOV.BR/SITUACAO/2008/ESTADOS /PA.ASP) | 58 |
| GRÁFICO 5 - NÍVEIS FLUVIOMÉTRICOS DIÁRIOS DO RIO TOCANTINS EM MARABÁ..... | 100 |
| GRÁFICO 6 - FLUVIOGRAMA ANUAL DO RIO TOCANTINS NO POSTO FLUVIOMÉTRICO DE MARABÁ – 29050000. FONTE: SANTOS (2008). | 101 |
| GRÁFICO 7 - MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DO ANO 2008 (ATÉ 15/07/2009) DO RIO TOCANTINS EM..... | 102 |
| GRÁFICO 8 - PERCENTAGEM DA ÁREA DRENADA DA BACIA ARAGUAIA-TOCANTINS POR ESTADO..... | 143 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 1 – CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO EM DIFERENTE TIPO DE SOLOS..... | 48 |
| TABELA 2 - VALORES DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO CONFORME AS CARACTERÍSTICAS DE URBANIZAÇÃO DA BACIA..... | 49 |
| TABELA 3 - RELAÇÃO DA INFILTRAÇÃO MÉDIA EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA FLORESTAL..... | 50 |
| TABELA 4 - VALORES DO NÚMERO DE DEFLÚVIO (N) PARA DIFERENTES USO DA TERRA E DIFERENTES TIPOS DE SOLOS..... | 51 |
| TABELA 5 - RELAÇÃO ENTRE A PROPORÇÃO DA COBERTURA VEGETAL COM O ESCOAMENTO SUPERFICIAL (MODIFICADO DE BURGER, 1976)..... | 51 |
| TABELA 6 - REGISTROS DOS NÚMEROS DE MORTES EM INUNDAÇÕES NO BRASIL NO PERÍODO DE 1940 A 2008. (FONTE: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)..... | 55 |
| TABELA 7 - OS DEZ MAIORES DESASTRES NATURAIS EM NÚMERO DE MORTES NO BRASIL (1900-2011). (FONTE: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)..... | 55 |
| TABELA 8 - OS DEZ MAIORES DESASTRES NATURAIS EM NÚMERO DE PESSOAS AFETADAS NO BRASIL (1900-2011). (FONTE: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)..... | 56 |
| TABELA 9 - OS 10 MAIORES DESASTRES NATURAS EM PREJUÍZOS OCORRIDOS NO BRASIL (1900-2011). | 56 |
| TABELA 10 - RESUMO DOS DESASTRES OCORRIDOS NO BRASIL ENTRE 1900 A 2011..... | 57 |
| TABELA 11 - RELAÇÃO DO NÍVEL DE CHEIA COM O NÚMERO DE PESSOAS ATINGIDAS..... | 83 |
| TABELA 12- EVOLUÇÃO DAS ANÁLISES DE MONITORAMENTO DE CHEIAS (VIANNA, 2000)..... | 86 |
| TABELA 13 - LISTA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO SISTEMA DE ALERTA..... | 95 |
| TABELA 14 - COORDENADAS GEODÉSICAS AJUSTADAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM..... | 106 |
| TABELA 15 - COORDENADAS GRID AJUSTADAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM - UTM..... | 107 |
| TABELA 16- COMPARAÇÃO DO LEVANTAMENTO DE CAMPO COM OS DADOS DA BASE PMM/COHAB..... | 127 |
| TABELA 17 - RELAÇÃO ÁREA DRENADA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO NORTE..... | 142 |
| TABELA 18 – CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO TOCANTINS..... | 144 |
| TABELA 19 - NÍVEIS E COTAS ATINGIDAS PELAS CHEIAS DE 1976 A 2011..... | 160 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | | |
|----------|---|---|
| ABRACOS | - | Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study |
| ADA | - | Agência de Desenvolvimento da Amazônia |
| ANA | - | Agência Nacional de Água |
| ARME | - | Amazon Region Micrometeorological Experiment |
| BASA | - | Banco da Amazônia |
| CEDEC | - | Coordenadoria da Defesa Civil |
| CEMADEN | - | Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais |
| CENAD | - | Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da |
| CENSIPAM | - | Amazônia |
| CETESB | - | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| COHAB | - | Companhia de Habitação do Estado do Pará |
| CPRM | - | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| DGPS | - | Differential Global Positioning System (DGPS) |
| DNAEE | - | Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica |
| EIRD | - | Estratégia Internacional para a Redução de Desastres |
| EUA | - | Estados Unidos da América |
| FCTH | - | Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica |
| GEE | - | Gases de efeito estufa |
| GEF | - | Global Environment Facility |
| GPS | - | Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global) |
| GNSS | - | Global Navigation Satellite System |
| HiBAm | - | Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica |
| IBGE | - | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IFET | - | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia |
| IFPA | - | Instituto Federal do Pará |
| INCRA | - | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária |
| IPCC | - | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ISDR | - | International Strategy for Disaster Reduction |
| LBA | - | Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia |
| MDT | - | Modelo Digital do Terreno |

| | | |
|--------|---|--|
| MI | - | Ministério do Interior |
| ONU | - | Organização das Nações Unidas |
| OMM | - | Organização Meteorológica Mundial |
| PHICAB | - | Programa Climatológico e Hidrológico de la Cuenca Amazónica de Bolívia |
| PHCA | - | Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia |
| PMPA | - | Prefeitura Municipal de Porto Alegre |
| PMM | - | Prefeitura Municipal de Marabá |
| PNUD | - | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento |
| PNUMA | - | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| PR | - | Presidência de República |
| RBMC | - | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo |
| SEMA | - | Secretaria de Estado de Meio Ambiente |
| SAISP | - | Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo |
| SIG | - | Sistema de Informações Geográficas |
| SIPAM | - | Sistema de Proteção da Amazônia |
| SIVAM | - | Sistema de Vigilância da Amazônia |
| SMS | - | Serviço de mensagens curtas (em inglês: Short Message Service, SMS) |
| SPVEA | - | Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia |
| SUDAM | - | Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia |

1. INTRODUÇÃO

As ameaças hidrometeorológicas são processos ou fenômenos de origem atmosféricas, hidrológicas ou oceanográficas que podem ocasionar mortes, lesões e outros impactos a saúde, além de danos a propriedade, perda do meio de sustento próprio e de serviços, ocasionando transtornos sociais, econômicos e danos ambientais, ocorrendo um rompimento social que pode ocorrer em escala individual, da comunidade ou do estado. (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2004).

Por outro lado, a humanidade tem contribuído para agravar este quadro de vulnerabilidade, com origem desde o início das primeiras aglomerações humanas, devido principalmente ao forte crescimento das cidades, aliado a falta de um ordenamento territorial, muitas famílias ocupam as áreas como vertentes inclinadas, solos instáveis, planícies de inundação, entre outros ambientes impróprios para uso residencial e muitas vezes atribuem as alterações do ambiente às ações de terceiros, não se percebendo enquanto agente envolvido no processo. Nessas condições aqueles eventos que seriam apenas mais um fenômeno natural, tornam-se um desastre natural, pois os perigos de um fenômeno natural encontram a vulnerabilidade instalada com as pessoas residindo em áreas inadequadas.

No Brasil, segundo a ONU (2010), entre os anos de 2000 a 2010 foi atingido por 60 desastres naturais, que deixaram aproximadamente 1200 mortos por todo o território nacional. Entretanto, foi somente com após os desastres que ocorreram nos últimos anos como os de chuvas no Vale do Itajaí em 2008, chuvas e inundação do rio Mundaú em Alagoas (2010), chuvas e deslizamento na região serrana em Nova Friburgo e Teresópolis no Rio de Janeiro (2010) e a seca no rio Solimões em (2010) e Morro do Bumba em Niterói-Rj (2010), Ilha do Bananal em Angra-RJ (2010) levaram ao governo a ter maior atenção para essa área fortalecendo o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres-CENAD e criando o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais-CEMADEN (DINIZ, 2011).

Os resultados causados pelos eventos climáticos não dependem exclusivamente das características e da intensidade desses fenômenos, dependem também, da exposição e da vulnerabilidade ao qual o ambiente está condicionado. É justamente a associação de um ambiente altamente vulnerável e que associado a

eventos climáticos extremos formam condições favoráveis ao desenvolvimento de desastres naturais.

A ocorrência de desastre natural está diretamente ligada à dinâmica do planeta Terra, distinguindo-se aqui dois grandes processos naturais: o primeiro, associado às forças atuantes no interior da Terra, comumente denominado de endógenos (como vulcões e terremotos), e o segundo, vinculado aos processos que atuam na superfície de nosso planeta, denominado de exógeno (a exemplo das enchentes e movimentação de grandes massas de solos e rochas na superfície da terra).

Em torno de quatro bilhões de anos, o balanço ecológico do planeta esteve protegido e, com o surgimento do homem, há meros 100 mil anos, o processo de alteração do meio ambiente tem sido proporcional à sua evolução (GIODA, 2002). Nesse sentido, a grande necessidade de água levou a população a ocupar as margens dos rios, oceanos, lagos e mares. Com o surgimento da agricultura, houve a necessidade de encontrar terras férteis, fazendo com que o homem sapiens abandonasse a vida nômade e passasse a fixar-se num determinado lugar, o que deu origem às primeiras aglomerações humanas e provocou o surgimento das primeiras aldeias. Preferencialmente, o homem escolheu terras férteis em regiões localizadas às margens de rios, lagos, mares, oceanos e nascentes, e, muitas vezes, em áreas próximas a vulcões, com solos de grande fertilidade, mas, no entanto, caracterizadas por frequentes riscos de tremores e tsunamis.

A ocupação da cidade de Marabá não foi diferente desse contexto. Marabá foi primeiramente ocupada na confluência dos rios Tocantins e Itacaiúnas, na região conhecida atualmente como “Marabá Pioneira”, área alvo de nosso teste.

Esta região é, historicamente, afetada por enchentes que ocorrem no início de cada ano, resultado do aumento previsível e lento do nível dos rios. Essas enchentes são agravadas devido às variações climatológicas de médio a longo prazos, relacionadas aos períodos de chuvas contínuas, normalmente de fevereiro a maio. Contudo, as variações diárias do tempo, como chuvas intensas e concentradas, não influenciam neste regime de cheias que posteriormente escoam, diminuindo pouco a pouco. Por isto prevenir a população das enchentes constitui-se uma ferramenta importante tanto no aspecto econômico quanto nos aspectos ambientais, e a preservação da própria vida humana.

As ações da Defesa Civil no Pará estão sob a responsabilidade da Coordenadoria da Defesa Civil (CEDEC) que é a responsável pelo planejamento e execução de ações preventivas, de socorro, de assistência, reabilitadoras e reconstrutivas com o intuito de evitar ou minimizar os desastres, preservar o moral da população e restabelecer a normalidade social. Também é função desse órgão o monitoramento e a emissão de notas de alertas de cheias e períodos longos de estiagem com bases nas previsões estatísticas, utilizando as séries históricas de vazão dos rios que margeiam algumas cidades do estado do Pará, principalmente nas margens dos rios Amazonas, Tocantins, Tapajós e Xingu.

Atualmente, a defesa civil de Marabá tem utilizado as informações das estimativas de previsão do nível do rio com 4 dias de antecedência. Essas previsões são fornecidas pela Coordenação Regional de Defesa Civil (SUDAM), pela CPRM e também pelo SIPAM. Com base nesse cálculo, a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Marabá (COMDEC) pode tomar decisões e planejar as suas operações de socorro às vítimas, em caso de enchente.

A gestão dos recursos hídricos de uma bacia necessita de estudos físicos que controlam a distribuição e a circulação da água, sendo fundamental entender o ciclo hidrológico, que correspondente a um sistema fechado dentro dos limites da área analisada. Em virtude disso, os modelos hidrológicos representam matematicamente o fluxo da água representado sobre as diversas formas de escoamento, tanto superficial e/ou através da subsuperfície terrestre. Esses modelos ambientais podem ser uma solução possível, pois permitem simular os processos físicos que ocorrem na paisagem ao longo do tempo e oferecer aos tomadores de decisão uma indicação de possíveis cenários. No entanto, esses modelos informam apenas as cotas previstas e não examinam o problema em um contexto geográfico, ou seja, a espacialização da região afetada e seus consequentes prejuízos. Assim, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) torna-se uma ferramenta fundamental em virtude de possibilitar a visualização espacial das previsões para o nível do rio (coluna d'água), geradas pelo modelo hidrológico, indicando desta forma as áreas afetadas pela enchente, garantindo aos técnicos da defesa civil uma melhor visão da magnitude do evento (PULLAR; SPRINGER, 2000).

É necessário, todavia, que o sistema possua uma rede de coleta de informações pluviométricas e fluviométricas bem distribuída, confiável e ágil na transmissão das informações, para que cheguem aos analistas nos centros de previsões com a rapidez necessária para a realização das estimativas.

Nesse sentido, é premente criar soluções tecnologicamente capazes de instrumentalizar a sociedade para a eliminação do risco ou para a sua minimização, em padrões que ofereçam qualidade de vida frente às enfreáveis e insensíveis forças que governam nosso incrível e maravilhoso planeta.

1.1 OBJETIVO GERAL

A presente dissertação tem como objetivo geral a criação de um sistema de alerta de enchentes, com base em um modelo hidrológico em ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a região conhecida como Marabá Pioneira, na cidade de Marabá, a sudeste do Estado do Pará.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver o modelo de elevação do terreno (MDT).
- Adaptar um modelo hidrológico para o sistema de alerta de enchente
- Desenvolver um sistema de monitoramento e alerta de enchentes com base num programa que utilize linguagem **avenue**, a ser aplicado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o intuito de tornar operacional um modelo de previsão hidrológica nível/nível.
- Elaborar ferramentas de auxílio para tomada de decisão por parte da Defesa Civil no enfrentamento de enchentes.

1.1.2 HIPÓTESES

A presente dissertação tem como hipótese:

- É possível desenvolver um Sistema de Alerta de Enchentes que agregue um modelo hidrológico a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a cidade de Marabá?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. UM FUTURO EM RISCO: AUMENTO DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA

Durante o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), ocorrido em 1988, promovido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), foram compiladas inúmeras informações científicas, técnicas e socioeconômicas, importantes para um melhor entendimento das modificações que estão ocorrendo no clima mundial, analisando seus impactos potenciais e as opções de adaptação e mitigação. Nesse evento, foram criados três grupos de trabalhos:

Grupo de Trabalho I: avalia os aspectos científicos do sistema climático e de mudança do clima;

Grupo de Trabalho II: avalia a vulnerabilidade dos sistemas socioeconômicos e naturais diante das mudanças climáticas, assim como as possibilidades de adaptação a elas e;

Grupo de Trabalho III: avalia as opções que permitiriam limitar as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa).

O resultado do IPCC apontou que, nos últimos 50 anos, grande parte do aquecimento observado foi causado por atividades humanas e por variabilidade natural. Através de um prognóstico para o futuro, com o aumento da temperatura do planeta, aumentará a possibilidade da ocorrência de secas cada vez mais prolongadas e de intensas precipitações. No entanto, alguns autores ou grupos como *Framework Convention on Climate Change* definem este termo como mudanças associadas direta ou indiretamente à atividade humana que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período (TUCCI; ALLASIA, 2006). Para MOLION (2006 e 2010) existe um exagero na hipótese de que as alterações climáticas recentes possam ser resultantes do aquecimento global, seqüela da intensificação do efeito estufa decorrente de atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis e aumento da produção agropecuária. Para o autor, a sustentabilidade pode ser questionável em virtude do crescimento populacional e da vulnerabilidade da Sociedade Humana à variabilidade climática. Normalmente, para justificar as tragédias ocorridas, os governos atribuem a culpa às

mudanças climáticas, quando seria responsabilidade do governo atuar na prevenção e na redução de riscos (VENDRUSCOLO, 2007).

Na região amazônica, estudos hidrológicos realizados a partir da metade do século XIX tentam compreender, tanto quantitativamente como qualitativamente, os processos atuantes no ciclo hidrológico da bacia do rio Amazonas. Alguns projetos têm realizado vários estudos e experimentos como o Programa Climatológico e Hidrológico de la Cuenca Amazónica de Bolívia (PHICAB), Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica (HiBAm), Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study (ABRACOS), Amazon Region Micrometeorological Experiment (ARME), Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia (SUDAM/PNUD/OMM) e Global Environment Facility (GEF) (RIBEIRO NETO, 2006; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010; MINISTÉRIO DO INTERIOR, 1980).

Com a implantação do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), foram instaladas 180 PCD's na Amazônia Legal, referentes ao acordo com a Agência Nacional das Águas que impulsionou a coleta de informações ambientais na região. Esses projetos contribuem significativamente para o conhecimento da bacia hidrográfica da região, com estudos que abrangem levantamentos de maior detalhe da topografia, mapeamento geológico, climáticos, hidrológicos, ambientais e socioeconômicos.

O Governo Federal está executando o Projeto Cartografia da Amazônia, coordenado pelo Sistema de Proteção da Amazônia, com investimentos na casa dos R\$ 350 milhões, que tem como objetivo concluir as cartografias terrestres, geológicas e náuticas de 35% do território da região amazônica sem informações, durante cinco anos. A proposta é acabar com os "vazios cartográficos", contribuindo para o desenvolvimento econômico, social e para a proteção da região amazônica. Os resultados desse trabalho vão auxiliar no planejamento e execução dos projetos de infraestrutura como rodovias, ferrovias, gasodutos e hidrelétricas, além da demarcação de áreas de assentamentos, áreas de mineração, agronegócio, elaboração de zoneamento ecológico, econômico e ordenamento territorial, segurança territorial, escoamento da produção e desenvolvimento regional. As informações ajudarão no conhecimento da Amazônia brasileira e na geração de informações estratégicas para monitoramento de segurança e defesa nacional, em especial nas fronteiras. O estudo permitirá o acompanhamento futuro das alterações

e também a quantificação de eventuais mudanças no meio ambiente. Porém, as características do clima e do regime hidrológico só serão conhecidas se dispusermos de uma série histórica de dados hidrometeorológicos observados na área. Fatores como o maior período de coleta de dados históricos e do menor intervalo de tempo entre as coletas de dados, melhor distribuição espacial das estações com régua limimétricas e das plataformas de coleta de dados, possibilitarão um melhor conhecimento da bacia hidrográfica estudada.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as cheias são o perigo natural que mais afeta a população do planeta Terra, atingindo as regiões localizadas às margens da rede de drenagem, da linha de costa ou de barragens e diques e o problema tende a aumentar em função da expansão urbana desordenada nas planícies aluviais (PAIVA; SILVA, 2006).

2.2. O AUMENTO DA POPULAÇÃO MUNDIAL

Não há local em nosso planeta onde não haja aglomerações humanas. A humanidade, atualmente, está inserida neste contexto de mudança de comportamento e crescimento populacional que, por sua vez, necessita de uma quantidade maior de alimentos e de recursos naturais, de toda ordem. Este fenômeno foi responsável pelo processo de transformação, em poucas décadas, de pequenas aldeias em cidades e, por vezes, até mesmo em metrópoles. Devido a esses fatores, criaram-se condições favoráveis ao surgimento de grandes desastres, pois na seleção dos locais para a fixação humana, nunca foi considerado o risco e, sim, a capacidade de abastecimento de água, solos férteis para cultivo, facilidade de transporte, comunicação e comércio com outros locais (EHRlich, 1968; MCBEAN, 2004).

Segundo estimativas do Programa da Organização das Nações Unidas, (Relatório da Situação Mundial das Cidades 2006/07), pela primeira vez na história mundial, foi registrado que a população urbana das cidades ultrapassou a das áreas rurais. Baseando-se nessa tendência dos índices de crescimento e de urbanização, o Brasil terá 55 milhões de habitantes, em 2020, vivendo em áreas de risco, como favelas, encostas e baixadas (BBC, 2006).

Segundo a ONU (ONU apud BBC, 2006, não paginado):

[...] Essas áreas não são apenas uma opção de moradia de baixo nível, falta de serviços básicos e de direitos humanos, elas são também um sintoma de sociedades urbanas disfuncionais, em que desigualdades não apenas são toleradas, como proliferam livremente.”

Segundo Campos Filho (1992):

“Na maioria das cidades latino-americanas a oferta de empregos urbanos não se faz ao mesmo ritmo que a chegada de migrantes, gerando os bairros de extrema miséria. Conhecidos por barriadas, favelas, mocambos, cortiços e palafitas.”

O Gráfico 1 ilustra a evolução populacional desde o início da Era Cristã, com uma população em torno de 300 milhões de habitantes, caracterizada pela alta mortalidade infantil e expectativa de vida em torno dos 40 anos, devido principalmente a guerras e doenças, o que fazia com que a população não aumentasse. Esse ciclo é denominado de **Ciclo Demográfico Primitivo**. Com as mudanças ocorridas na sociedade, principalmente devido aos avanços tecnológicos ocorridos em meados do século XVIII, teve início, na Inglaterra, a Revolução Industrial, que se propagou pelos quatro cantos do mundo. Trata-se da maior transformação da história humana, passando o homem, eminentemente agrícola e rural, a ser também industrial e urbano. Tem início o ciclo mais produtivo de nossa espécie, denominado de **Revolução Demográfica**, diferenciada principalmente pelo declínio da taxa de mortalidade e pela alta taxa de natalidade. Nesse período, passamos de 300 milhões para 2,5 bilhões de habitantes em 200 anos: um crescimento superior a 800%. O atual período, conhecido como **Explosão Demográfica**, prevê para o ano de 2012 uma população em torno de 7 bilhões de habitantes, apontando um crescimento de 280% em 62 anos. No atual período, temos um aumento cada vez maior da expectativa de vida das pessoas e um declínio da taxa de natalidade. Isso se deve aos avanços da medicina, com a cura de inúmeras doenças, às melhorias na qualidade de vida e à nossa capacidade de mobilizar matéria e energia, passando do carvão mineral, petróleo à energia nuclear. Estamos em crescimento hiperbólico – duplicamos o número de habitantes a taxas de tempo cada vez menores (HOBSEAWM, 1977).

Segundo a ONU, o planeta Terra terá 9 bilhões de habitantes em 2300, isso adotando um cenário médio com uma taxa de natalidade de 1,7 filho/mulher, e com uma tendência a estabilizar a população mundial em torno desse número. De acordo

com esse cenário, o Brasil terá, no ano de 2055, a sua maior população, com aproximadamente 233 milhões de habitantes, decrescendo e se estabilizando por volta de 222,6 milhões de habitantes em 2300 (UNITED NATIONS, 2004).

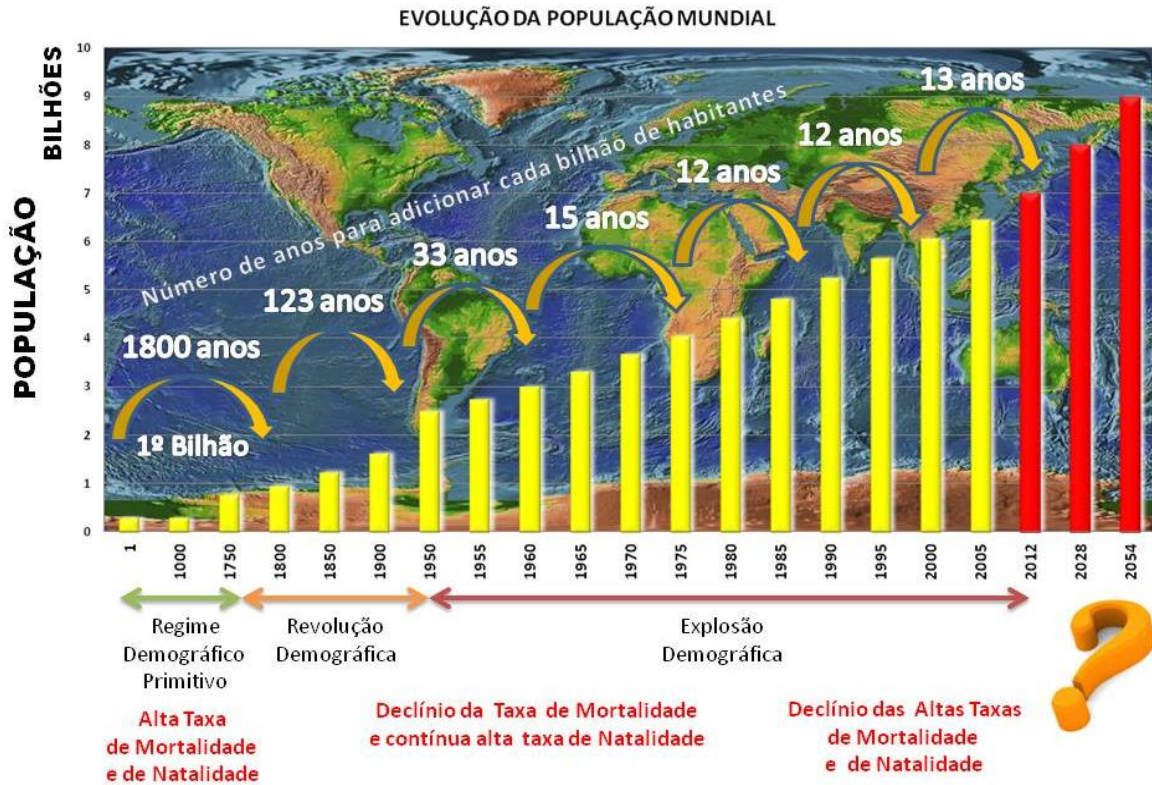


Gráfico 1- Evolução da população mundial segundo estimativa da ONU.
Elaborado por Jamer Costa (UNITED NATIONS, 2004)

2.3. OCUPAÇÃO DA AMAZÔNIA

Na Amazônia, acreditava-se até pouco tempo, por falta de conhecimento científico, que o meio ambiente amazônico durante a Pré-História era inóspito ao desenvolvimento de culturas complexas, como os povos que viveram nos Andes e na Mesoamérica. Imaginava-se também que a Amazônia era uma área homogênea, e caracterizada por um verdadeiro vazio demográfico, devido ao solo ácido, inapropriado para o cultivo. Os artefatos encontrados eram justificados como fruto da imigração dos povos. Estudos recentes datam a formação dos povos dos Andes e da Mesoamérica entre 30.000 a 50.000 anos. Não existe consenso, também entre os arqueólogos, sobre a antiguidade da ocupação humana na América do Sul. Até há alguns anos, o ponto de vista mais aceito sobre este assunto era o de que os primeiros habitantes do continente sul-americano teriam chegado há pouco mais de 11 mil anos (MORAN, 1990; NEVES, 2006 e PROUS, 1992), fato esse que levou os

cientistas a acreditarem que a ocupação se deu do Oeste para o Leste Amazônico. Estudos realizados por vários cientistas reconhecem a ocupação densa da bacia amazônica por diferentes povos indígenas a partir do final do século XV e notam continuidade entre esses povos do passado no presente, tendo ocorrido apenas algumas mudanças culturais com o tempo. Esses estudos também demonstram que os processos de ocupação no presente estão ligados às ocupações do passado. Registros arqueológicos sugerem que a primeira presença humana na Amazônia data de 11 mil anos atrás. Entretanto, ainda existem poucas informações sobre esse tema, havendo necessidade de mais estudos e de novos registros arqueológicos. A ocupação da Amazônia ocorreu dividida em quatro compartimentos (NEVES, 2006):

- Faixa paralela à Cordilheira dos Andes (Bolívia, Peru, Equador e Colômbia)
- Áreas de interflúvio (ou de “terra firme”)
- Zonas de estuário e litoral (costa dos estados do Pará, Amapá e Maranhão)
- Neste último compartimento, foram encontrados os sítios com cerâmica mais antiga da América do Sul, atribuídos à civilização Marajoara.

A Figura 1 apresenta um histórico de ocupação da Amazônia Oriental.

| Período | Ocupação da Amazônia | Municípios | Data de Fundação |
|------------------------------|--|---|--|
| Séc. XVIII | Colonização Portuguesa | Santarém | 1755 |
| Primeira Metade do Século XX | Economia da Borracha | Altamira, Itaituba, Juruti e Porto de Móz | 1911, 1935, 1935, 1937 |
| Década de 60 | Políticas desenvolvimentistas de integração nacional: colonização dirigida | Aveiro, Prainha e Sem. José Porfírio | 1961, 1935, 1961 |
| Década de 80 | Políticas desenvolvimentistas de integração nacional: colonização dirigida | Medicilândia, Rurópolis, Uruará | 1989, 1989, 1989 |
| Década de 90 | Alteração da agricultura de subsistência para a agricultura mecanizada | Anapu, Belterra, Brasil Novo, Jacareacanga, Novo Progresso, Placas e Trairão e Vitória do Xingu | 1997, 1997, 1993, 1993, 1993, 1997, 1993 |

Figura 1 - Evolução da Ocupação na Amazônia Oriental.

Fonte: Ministério das Cidades - Indicadores Urbanos, 2000; Revista Ver-o-Pará nº 07/1995, Listel 2001/2002, Barsa 2000, e Guia 8º BECnst 2002.

2.3.1. CICLO DA BORRACHA NA AMAZÔNIA

O Ciclo da Borracha é considerado o fenômeno socioeconômico mais expressivo ocorrido na Amazônia, que se estendeu do final do século XIX ao início do século XX. O fim do Ciclo foi causado pelo surgimento de plantações de borracha na Indonésia, Malásia, Sri Lanka. Na época, as duas últimas eram colônias inglesas, com sementes colhidas na Amazônia e levadas para a Inglaterra por Henry Wichham (MARTINELLO, 2004).

Como consequência do povoamento da Amazônia, foram anexadas ao território brasileiro as terras que hoje compõem o Estado do Acre (1889-1903), processo esse marcado pelo genocídio indígena, provocado pelas **correrias**¹, primeiro movimento migratório dos nordestinos para a Amazônia, e morte de centenas deles, vítimas de doenças típicas da região, principalmente malária, febre amarela e doença de chagas. Outra consequência desse período foi o desenvolvimento econômico das cidades de Belém e Manaus, assim como do transporte fluvial na região. A população da cidade de Manaus passou de 3.000 habitantes, em 1830, para 50.000 habitantes, em 1880. No começo da década de 1920, as exportações de borracha caíram drasticamente, fechando o ciclo. Após esse período, as cidades de Belém e Manaus esvaziaram-se e entraram em plena decadência (MARTINELLO, 2004).

2.3.2. DESMATAMENTO

No governo de Getúlio Vargas, em pleno “Estado Novo”, durante a fase inicial do planejamento regional (1930-1960), verificou-se a necessidade de unificar o mercado nacional, associada ao avanço da industrialização que deu início à abertura da região, sendo criada, em 1953, com esse objetivo, a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA). Mas foi no governo de Juscelino Kubistchek, em 1958, que as ações foram efetivadas com a construção das rodovias Belém-Brasília (BR-010) e a Rodovia Diagonal do Brasil (BR-364). Com isso, o processo de ocupação foi desencadeado com um aumento da população da Amazônia de 1 para 5 milhões de habitantes, entre os anos de 1950 a 1960. (BECKER, 2001)

¹ Expedições com o objetivo de expulsar os nativos de suas terras.

Para Fearnside (2005), a rodovia Belém-Brasília, foi uma importante obra responsável pelo início do desmatamento na região, onde ocorreu um fluxo de pequenos posseiros individuais que derrubaram parte da floresta, seguidos por grandes fazendeiros que assumiram essas áreas, tanto por compra como por expulsão violenta, ou uma mistura de ambas. Até então, a floresta amazônica praticamente não havia sofrido muitos impactos até o início da era “moderna” do desmatamento, que teve como marco a construção da rodovia Transamazônica, em 1970. A partir desse momento, a região vem registrando aumentos nos índices de desmatamento, principalmente após 1991. Esse avanço tem a pecuária como o motor principal do desmatamento, onde as fazendas de médio e grande porte são responsáveis por cerca de 70% das atividades de desmatamento.

Em 1966, o Banco de Crédito da Borracha é transformado no Banco da Amazônia (BASA) e a SPVEA, na Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). Em 1974, o governo passou a priorizar e apoiar as grandes fazendas através de incentivos fiscais e financiamentos subvencionados em projetos. No final dos anos 80, o governo deixou de subsidiar e incentivar novos projetos. Neste período, ocorreu uma mudança na política ambiental no Brasil com a criação de legislação e de estrutura administrativa ambiental, caracterizando uma nova gestão do meio ambiente, principalmente após a formulação da Política Nacional de Meio Ambiente, em 1981, e a promulgação da Constituição de 1988.

2.3.3. INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NO REGIME HIDROLÓGICO

A mudança na cobertura vegetal de florestas para pastagens altera as funções da bacia hidrográfica. Vários estudos apontam, principalmente, para o aumento do escoamento superficial causado pela compactação do solo, ocasionada pelo pisoteamento do gado no pasto. Graças ao uso de modelos numéricos de circulação geral, esses estudos têm avaliado o impacto do desmatamento sobre o clima (NOBRE et al. 1991; LEAN et al., 1996).

Os padrões regulares das cheias são importantes para o funcionamento do ecossistema natural do rio e da proximidade dele, bem como para a agricultura nas áreas de várzea. Estima-se que de 20 a 50% da água é reciclada dentro da bacia Amazônica (LEAN et al., 1996; MOLION, 1976).

Apesar de haver indicação de que o impacto hidrológico do desmatamento seria menor que o imaginado, o que ocorre é exatamente o contrário. Estima-se que o escoamento através do rio Amazonas seja de 50% da chuva que cai na bacia, o que implica que os outros 50% sejam reciclados, acreditando-se que o vapor de água permanece dentro da bacia. Porém, parte deste vapor escapa para o Pacífico, pela Colômbia (FEARNSIDE, 2005). Outro fator importante é que uma parte desse vapor de água é transportada para o sul e centro-sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, e a outra parte segue pelo Atlântico, em direção ao sul da África. Isso confere ao desmatamento Amazônico um grau de impacto que não é considerado em nível político (FEARNSIDE, 2005).

Todavia as enchentes naturais podem ser atenuadas ou ampliadas em função de ações antrópicas, tais como a construção de barragens ou da impermeabilização da superfície da bacia (CPRM, 2004).

Nesse contexto, **o desafio maior dos governos é integrar as informações socioambientais, de forma a monitorar os rios e a ocupação da população que vive nas áreas de risco ao longo de seu curso.** Mediante a simulação do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica e das mudanças que ocorrem no uso da terra, pode-se **prever** possíveis **riscos** que foram provocados tanto pelas **grandes estiagens** quanto pelas **enchentes** e, **desta forma, realizar ações que podem mitigar possíveis danos.**

2.3.4. O PROBLEMA, MITIGAÇÃO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Na Amazônia, as populações procuraram fixar-se às margens d'água para o uso desse recurso, que é fundamental à vida humana. Em muitos casos, contudo, as populações vivem permissivas a riscos de saúde devido à contaminação (Figura 2). Em função do rápido crescimento populacional, ocorrido principalmente no século XX, as áreas de várzeas e das planícies de inundação foram ocupadas desordenadamente, criando áreas de risco, devido a frequentes inundações que ocorrem nesses locais, responsáveis por prejuízos materiais e pela perda de vidas humanas.



Figura 2 - Canal contaminado usado inadequadamente e expondo os moradores a risco e a doenças (Fotografia: Canal da Quintino com a Trav. Eng. Fernando Guilhon em Belém-Pa - Jamer Costa - 17/04/2011).

É possível, em alguns casos, a convivência com as enchentes, necessitando-se para tal a implantação de medidas para o controle das inundações. Essas medidas podem ser do tipo estrutural ou não estrutural e têm como objetivo apenas mitigar as consequências das cheias e não controlar totalmente as inundações, o que é fisicamente e economicamente inviável, na grande maioria das inundações (CPRM, 2004).

2.4. CICLO HIDROLÓGICO

Na natureza, a água circula e se transforma entre os três ambientes: a atmosfera, o solo e a hidrosfera (oceanos, rios e lagos). Tendo o vapor d'água da atmosfera como origem, ao atingir determinadas condições, surgem as gotículas que, pela ação da gravidade, originam a precipitação pluviométrica (chuva). Durante esse processo, as gotas ainda podem sofrer o processo de evaporação. A parte que não evaporou, ao atingir o solo, poderá tomar dois caminhos: uma parte é absorvida e infiltrada através dos vazios do solo, abastecendo os reservatórios subterrâneos (lençol freático/aquífero). A outra parte passa a ser escoada superficialmente, alimentando lagos, rios e oceanos, podendo uma parte dessa água ser acumulada na forma de geleiras. A água armazenada nos reservatórios flui lentamente na chamada descarga de base para os corpos d'água e, por meio da evaporação fecha-se o ciclo hidrológico (Figura 3). O escoamento superficial está diretamente relacionado à quantidade de água que não foi retida/infiltrada. Em virtude disso, o escoamento será maior se houver pouca retenção (PINTO; PINHEIRO, 2006).

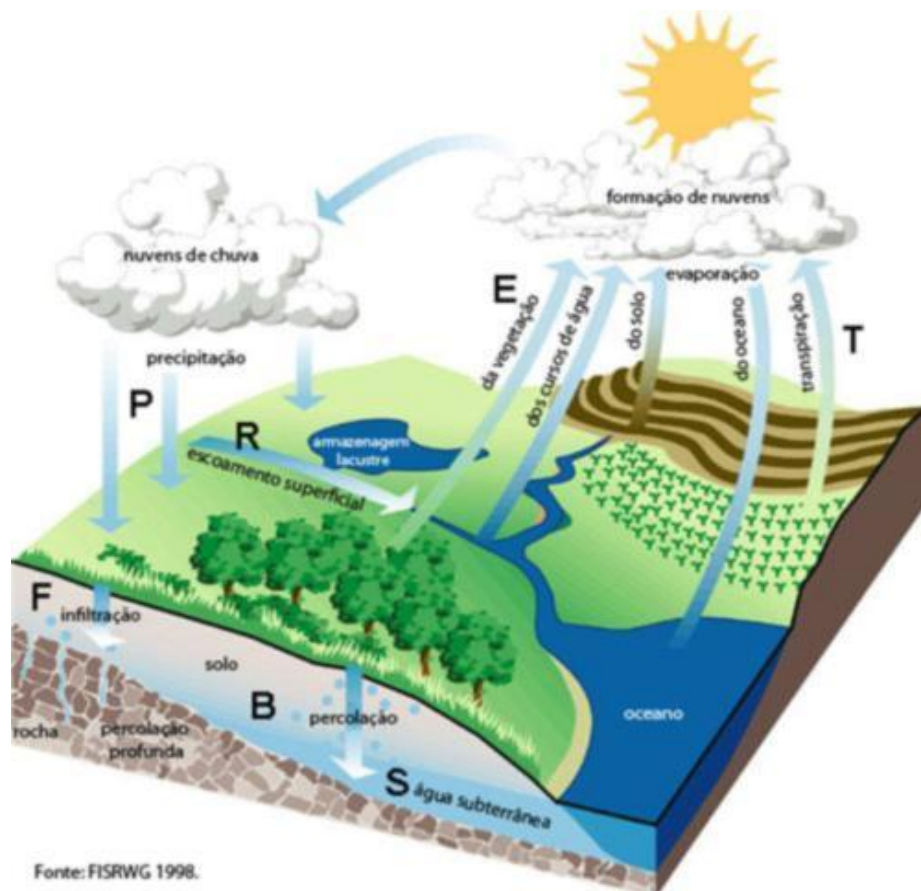


Figura 3 - Ciclo Hidrológico (MAGAZINE BLOGGER THEME, LK, 2011).

Com a degradação do solo, ocorre a poluição dos rios e o desaparecimento da flora e da fauna natural do local, provocando a perda significativa da biodiversidade. Além do comprometimento da camada fértil do solo que pode ser perdida, removida ou enterrada, em áreas degradadas, observa-se uma alteração da qualidade e regime de vazão do sistema hídrico. Esses problemas que estão interligados e qualquer diagnóstico ou intenção de minimizar os danos requerem uma visão multidisciplinar (ABDO, 2006).

Um dos principais estudos da hidrologia está relacionado à ocorrência de eventos hidrológicos extremos, os quais, no caso de eventos máximos, referem-se aos estudos das cheias, e no caso de eventos mínimos, aos estudos das secas. Em áreas urbanas, os eventos extremos máximos provocam enchentes, que causam grandes prejuízos materiais, sociais e de saúde pública, destruindo bens, desabrigando populações e ocasionando a disseminação de doenças (MENESCAL et al., 2009).

As enchentes são desastres naturais que, muitas vezes, podem ser, evitados por meio de um estudo de previsão e/ou prevenção que determinem as possíveis regiões de riscos (MATEUS, 2009). Apesar das cheias nos corpos d'água serem eventos da dinâmica externa previsível, causam anualmente um enorme prejuízo na economia, mesmo que essas cheias façam parte dos processos da dinâmica terrestre, perfeitamente naturais e importantes para a geração de um equilíbrio ambiental. No entanto, devido a modificações na atmosfera, nos terrenos e na biota, causadas por eventos naturais e antrópicos, a sua frequência e intensidade podem ser alteradas a partir de modificações:

- Na bacia hidrográfica;
- Recobrimento florestal;
- Assoreamento dos rios e
- Impermeabilizações do solo.

As más práticas na ocupação do espaço pelo homem devido à urbanização (construção de telhados, calçadas, ruas e pátios) causam a impermeabilização do solo, provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Acima de tudo, geram um maior aumento no escoamento superficial, carreamento de sedimentos para os cursos d'água, aumentando as taxas de assoreamento que dilatam a possibilidade de inundações em picos de chuvas (DIAS et al., 2003). Pesquisadores como Burger (1976) e Lombardi et al. (1991)

observaram que o escoamento superficial da água é inversamente proporcional à cobertura florestal (Figura 4).



Figura 4 - Mudanças com o desenvolvimento e suas relações com o fluxo hidrológico
(Fonte: modificada de PINTO e PINHEIRO, 2006).

As alterações no ambiente podem gerar:

- Redução da infiltração no solo;
- Redução do escoamento subterrâneo;
- Aumento do escoamento superficial devido ao volume que deixa de infiltrar e fica na superfície;
- Aumento da velocidade do escoamento superficial e do tempo de concentração;
- Aumento das vazões máximas e antecipação dos picos no tempo (Figura 5);
- Aumento das vazões máximas médias pode aumentar de seis a sete vezes;
- Redução da evapotranspiração devido à substituição da cobertura vegetal pela superfície urbana, pois a nova superfície não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhas e do solo;

- Aumento da evaporação, nas precipitações de baixa intensidade, devido ao aquecimento das superfícies urbanas.

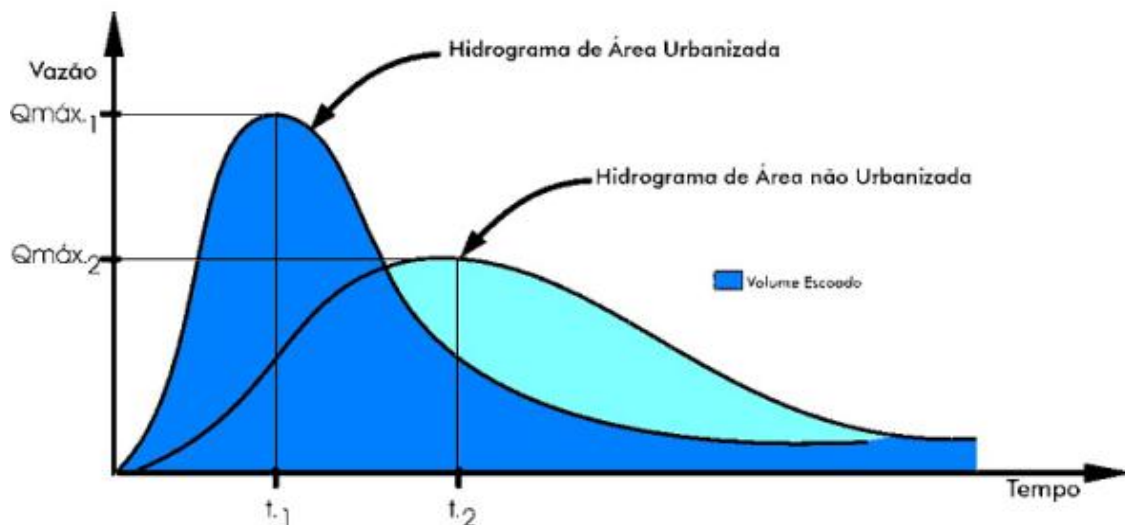


Figura 5 - Diferença causada no hidrograma de saída da bacia antes e após a urbanização da área (Tucci, 2003).

Segundo TUCCI (2003), devido aos processos de urbanização, as inundações/enchentes podem causar principalmente os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas e da sua frequência;
- Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial e contaminação de aquíferos.

Já as enxurradas são processos geológicos rápidos e, portanto, mais perigosos, pois são os que causam maiores prejuízos econômicos e maior número de casos de óbitos (MATEUS, 2009), uma vez que diminuem o tempo de reação do homem às suas consequências, atingindo as populações muitas vezes de surpresa, o que potencializa os prejuízos materiais e aumenta o potencial de perda de vidas humanas (aumento do risco). Nesse sentido, aumentar a capacidade do homem em prever através de simulações a ocorrência desses eventos, possibilita a criação do ambiente necessário para o enfrentamento de suas consequências e, assim, diminuir ou até mesmo, em muitos casos, eliminar as perdas materiais e de vidas humanas com a intervenção de obras e realocação de moradores das áreas vulneráveis e, com isso, eliminando a possibilidade de risco.

As inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, associadas ao período de maior ocorrência de chuvas e de maior duração (período chuvoso). Na Amazônia, essas ocorrências sempre estão relacionadas aos períodos de maior precipitação, conhecida como o inverno amazônico. O período de chuvas ou forte atividade convectiva na região Amazônica é compreendido entre novembro e março, sendo que o período de seca (sem grande atividade convectiva) é entre os meses de maio e setembro. Na Figura 6 é ilustrada as variações da precipitação ao longo do ano em todo o Centro-norte da América do Sul (FISCH et al., 2010).

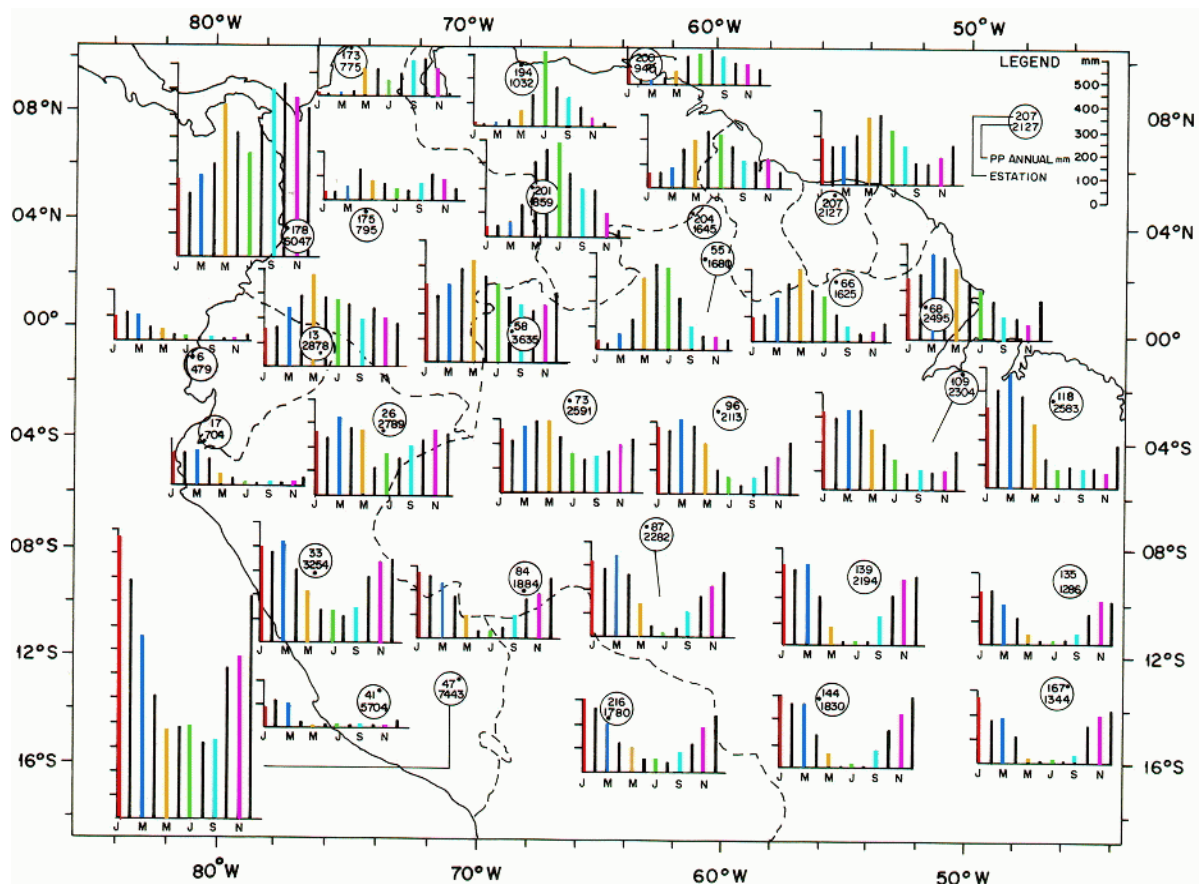


Figura 6 - Distribuição espacial e temporal da precipitação na Amazônia derivada (Figuerola e Nobre, 1990)

2.5. BACIA HIDROGRÁFICA E SUA IMPORTÂNCIA

A gestão de recursos hídricos baseada, usando como limite territorial as bacias hidrográficas, ganhou força no início dos anos 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92 (WMO, 1992).

De acordo com este documento, foram definidos alguns princípios:

Princípio nº 1: Trata do conceito que água doce é um bem finito, vulnerável e fundamental para sustentar a vida, desenvolvimento e meio ambiente. Este é um fundamento que caracteriza o aspecto de sustentabilidade para o recurso e define que sua gestão deva ter uma abordagem holística, ligando o desenvolvimento social e econômico com a proteção dos ecossistemas naturais. Sugere, ainda, que a sua gestão seja realizada com base nos limites das bacias hidrográficas ou dos aquíferos subterrâneos para que seja integrada.

Princípio nº 2: Define que a sua gestão deva ser descentralizada e participativa, envolvendo usuários, planejadores e formuladores de políticas em todos os níveis, permitindo que as decisões sejam tomadas no nível mais baixo apropriado, com ampla consulta pública e com a participação da representação de todos os usuários. O segundo princípio garante os usos múltiplos dos recursos hídricos e tira o privilégio do setor elétrico sobre os demais usuários.

Princípio nº 3: As mulheres desempenham um papel central na provisão, gestão e proteção da água.

Princípio nº 4: Reconhece o valor econômico da água e sugere, dessa forma, o seu uso racional, servindo de fundamento para a cobrança do uso do recurso hídrico. Esse princípio define inicialmente o papel vital da água, o direito de todos os seres humanos a terem acesso à água potável e ao saneamento, a um valor acessível. Por ser um bem finito e vulnerável e com valor econômico agregado, deve-se evitar as práticas ambientalmente erradas e os desperdícios do passado. Devemos apoiar o uso eficiente e equitativo da água e incentivar a conservação e proteção dos recursos hídricos.

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, definiu as diretrizes com seus princípios e normas para o gerenciamento dos recursos hídricos e adota como unidade de estudo a definição de bacias hidrográficas (BRASIL, 1997).

As bacias hidrográficas são os locais geográficos naturais, onde é observada a dependência de todos os componentes de crescimento e desenvolvimento da sociedade e define os usos múltiplos de gestão de recursos hídricos. As bacias também são áreas coletoras de água de chuva que através do escoamento superficial abastecem a drenagem principal (SILVA et al., 2010). Outra função

importante das bacias hidrográficas refere-se à recuperação de áreas degradadas, em virtude de que grande parte dos problemas ambientais ocorre em áreas situadas nos limites das bacias (GUERRA; CUNHA, 1995). Nesse sentido, é preciso ter conhecimento sobre a sua formação, constituição e dinâmica, prevendo, assim, as cheias e fazendo com que as intervenções do homem não sejam apenas temporárias e sem grande eficácia (GUERRA, 2003).

As bacias são formadas por um rio principal e seus afluentes, que transportam água e sedimentos ao longo dos seus canais. As bacias são separadas pelos divisores de águas, e, internamente, existem elevações, denominadas de interflúvios, que dividem sub-bacias hidrográficas. As alterações ao meio ambiente, gerando degradação ao solo e conseqüentemente desagregando materiais que serão carregados através do escoamento superficial, terá conseqüências diretas ou indiretas sobre os canais fluviais. Dependendo da distância da área atingida, esses materiais podem chegar imediatamente ao rio ou não, mas, fatalmente, causa o assoreamento dos rios, dos reservatórios construídos para a produção de energia hidrelétrica e dos açudes para a obtenção de água, em especial nos períodos de seca (GUERRA, 2003).

Nos estudos hidrológicos, a bacia hidrográfica é representada por uma área, que representa todas as superfícies que captam naturalmente água da chuva e despejam através do escoamento superficial a água sobre um ou mais canais e que desembocam numa única saída (enxutório ou confluência). O limite superior da bacia hidrográfica é o divisor de águas (divisor topográfico)(RENNÓ; SOARES, 2007).

Um índice importante para caracterizar uma bacia é o **coeficiente de escoamento (C)** ou **coeficiente de runoff**, ou **coeficiente de deflúvio** que é a razão entre o volume total escoado pelo volume total precipitado. Outro conceito utilizado refere-se à altura atingida pelo nível d'água em relação a um nível de referência. O termo **cheia** refere-se a uma elevação normal do curso d'água dentro do seu leito, já o termo **enchente** e **inundação** refere-se à elevação anormal do nível, que provoca o transbordamento e, possivelmente, gera prejuízos quando ocorrem em áreas habitadas (TUCCI, 1993).

Alguns fatores influenciam no problema do escoamento superficial, entre eles a precipitação, que é a origem da mais importante fase do ciclo hidrológico, seguido do aproveitamento desta água escoando na superfície e à proteção contra os

fenômenos provocados durante o seu deslocamento (erosão do solo, inundação, etc) (TUCCI, 1993, 2003). Os fatores predominantes no escoamento superficial são:

- **Natureza Climática** (relacionado à precipitação): As características climáticas de uma bacia hidrográfica determinam o escoamento superficial (*runnof*) da mesma, e alguns fatores são importantes como:
 - **Intensidade da precipitação:** Quanto maior for a intensidade da chuva, mais rápido o solo atinge o limite da sua capacidade de infiltração, e o excesso passará a escoar superficialmente;
 - **Duração da precipitação:** Quanto maior for a duração de uma chuva de intensidade constante, maior será a possibilidade de ocorrer escoamento superficial se a quantidade precipitada for maior que a capacidade da água se infiltrar no solo;
 - **Recorrência de Precipitação:** Ocorre quando o solo se encontra encharcado devido à precipitação anterior, podendo, nessas condições, produzir escoamento superficial;
- **Fisiográficos** (relevo da bacia): Alguns fatores relacionados à fisiografia da bacia são fundamentais para o escoamento superficial. Entre eles temos a forma da bacia hidrográfica, a permeabilidade e a capacidade de infiltração do solo, bem como a topografia da bacia (TUCCI, 1993, 2003).
 - **Área:** A superfície de uma bacia tem uma relação direta com a quantidade de água colhida por ela. Está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar. É a área geográfica coletora de água pluviométrica e influencia diretamente nas outras características físicas;
 - **Forma:** Em geral, uma bacia hidrográfica tem a forma de uma pera, e as outras possíveis formas geométricas dependem da interação clima-geologia e em qualquer situação a superfície da bacia é côncava e define a direção geral do escoamento (LIMA, 2008). A forma da bacia hidrográfica tem uma importância no tempo em que todos os tributários tenham contribuído para a descarga (Tempo de Concentração - **TC**).

Outro fator importante é que, geralmente, as bacias mais compactas tendem a concentrar o escoamento superficial no canal principal, que aumenta os riscos de inundação. A forma é uma característica física difícil de expressar em termos quantitativos. Na Figura 7, podem ser visualizadas 3 bacias hidrográficas de áreas iguais, porém de formas diferentes, onde:

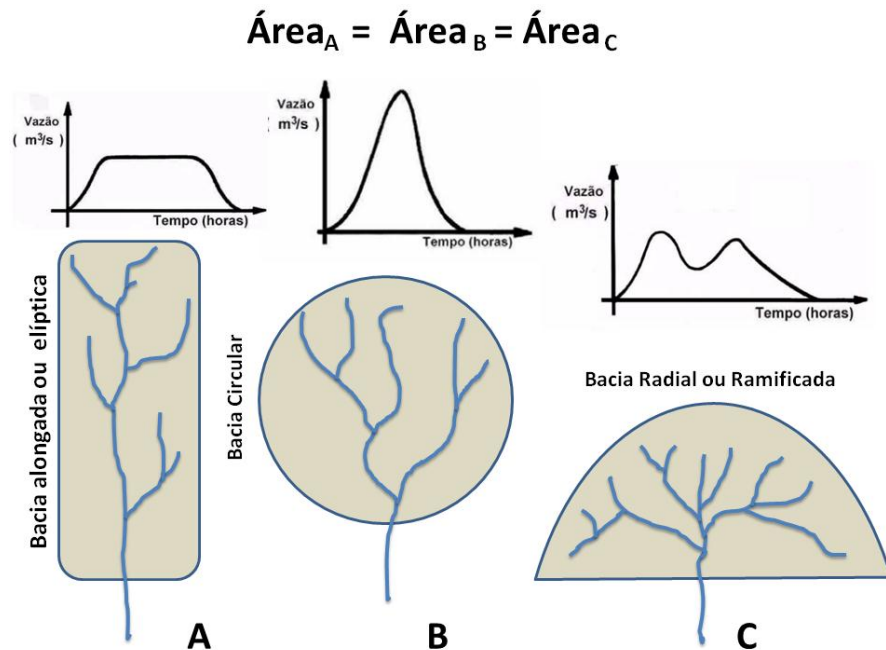


Figura 7 - Bacias com a mesma área, com formas diferentes e recebendo a mesma quantidade de chuva, levam tempo de descargas diferentes. A bacia C escoar mais rapidamente e a bacia A levará mais tempo para escoar.

A bacia **A**, por ser mais compacta e alongada (elíptica), concentra mais o escoamento superficial na drenagem no canal principal e será mais distribuída ao longo do tempo. Bacias assim são raramente atingidas de forma integral por chuvas intensas, o que também impede a possível ocorrência de cheias. O fato de ser mais alongada provoca um maior tempo de concentração. A bacia **C** é mais aberta e menos alongada, composta por sub-bacias alongadas, onde normalmente ocorrem as cheias, que convergem para um mesmo curso principal, mas não simultaneamente, permitindo assim uma menor concentração do escoamento superficial no canal principal e menor tempo de concentração. Outra característica desse tipo de bacia é que

normalmente a cheia crescerá, estagnará, ou diminuirá à medida que os fluxos das diferentes sub-bacias vão atingindo a drenagem principal. A bacia **B**, por ter uma forma mais circular (arredondada), levará um tempo de concentração mediador e não concentrará tanta água no canal principal da bacia, já que toda a água alcançará a saída ao mesmo tempo. Esse tipo de bacia é mais susceptível a inundações que as alongadas (LIMA, 2008).

- **Permeabilidade do solo:** Está relacionada diretamente à capacidade de infiltração de água no solo. Quanto maior for a permeabilidade de um solo, maior será a sua capacidade de absorver a água, ou seja, mais rápido será a velocidade de infiltração, que reflete numa diminuição da quantidade de água escoada superficialmente (Gráfico 2) (LIMA, 2008).

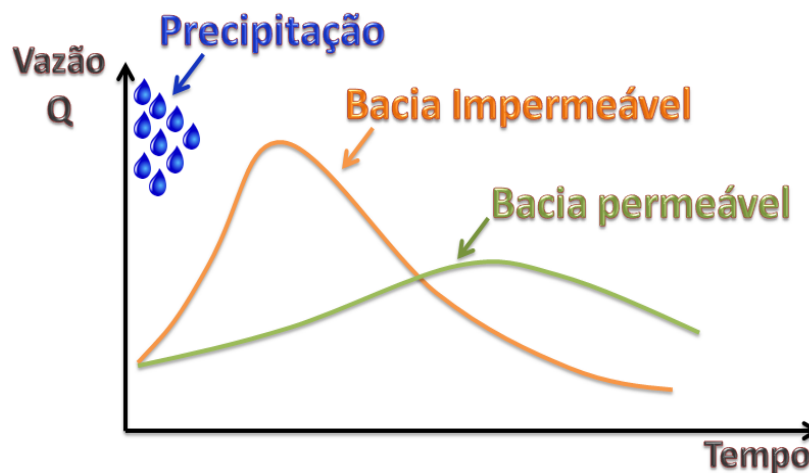


Gráfico 2 - Diferença entre a vazão de um rio em terrenos com solos permeáveis e impermeáveis.

- **Topografia:** as diferenças de altimetria em uma bacia são caracterizadas por sua declividade, presença de depressões acumuladoras na superfície do solo, e também pelo traçado e pela declividade dos cursos d'água que drenam esta bacia (TUCCI, 1993, 2003).
 - As bacias hidrográficas íngremes, em função do seu maior potencial hidráulico e do maior desnível, geram escoamento superficial mais rápido e mais volumoso, já que reduz a capacidade de infiltração.

- Já as depressões acumuladoras de água são responsáveis pela diminuição do escoamento superficial, que ocorre apenas pelo excesso de água não infiltrada pelo solo.
 - A declividade e o percurso da drenagem definem a velocidade da água escoada superficialmente, permitindo que a bacia atinja suas calhas naturais.
- **Características geológicas da bacia:** o tipo de litológico tem influência direta na infiltração, no armazenamento da água no solo e na suscetibilidade de erosão dos solos;
 - **Características do uso e ocupação do solo e da cobertura vegetal:**
 - **Escoamento superficial em diferentes tipos de solos**

Os tipo de cobertura vegetal e de ocupação do solo têm uma relação direta com o escoamento superficial. Aliados às características geológicas do terreno, controlam um maior ou menor escoamento superficial. E também exercem influência na taxa de evaporação da bacia, desempenhando um papel muito importante no combate à erosão do solo. Experimentos realizados por Lombardi Neto et al. (1991) mostram a relação do tipo de solo com a capacidade de infiltração, indicando que solos arenosos são mais permeáveis do que solos mais argiloso e, em função disso, os solos argilosos possuem menor capacidade de infiltração do que solos arenosos (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Capacidade de infiltração em diferente tipo de solos.

| CARACTERÍSTICA DA SUPERFÍCIE | CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO |
|--|---------------------------|
| Solos arenosos e argilosos, profundos e bem drenados. | > 3,4 mm h-1 |
| Solos arenosos, com pouca argila e solos orgânicos. | 2,5 - 3,4 mm h-1 |
| Solos mais argilosos com baixa permeabilidade | 1,4 - 2,5 mm h-1 |
| Solos com pouca argilas pesadas, rasos, pouco desenvolvidos e muito impermeáveis | < 1,4 mm h-1 |

Fonte: Lombardi Neto et al. (1991)

- **Escoamento superficial em diferentes tipos de coberturas em áreas urbanas**

Winken (1978) caracterizou o coeficiente de escoamento (C) em áreas de diferentes tipos de coberturas nas áreas urbanas de uma bacia (Tabela 2). Inúmeros experimentos relacionados ao escoamento superficial têm sido realizados em várias partes do mundo. Muitas dessas pesquisas mostram que a vazão do rio é menor nas áreas recobertas por florestas, devido à diminuição de água pela evapotranspiração (interceptação + transpiração), sendo que a redução é maior nos anos secos do que nos chuvosos. As pesquisas também demonstram que, em média, 10 a 25% da precipitação é retida pela cobertura folhear e que durante as ocorrências de chuviscos de curta duração esta interceptação pode chegar a 100%, sendo diretamente evaporada, o que provoca uma diminuição da pluviosidade da região a uma idêntica proporção (ZHANG; DAWES; WALKER, 1999).

Tabela 2 - Valores do Coeficiente de Escoamento conforme as características de urbanização da bacia.

| TIPO DE COBERTURA | COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C) |
|--|-------------------------------|
| Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas; | 0,70 a 0,95 |
| Edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas; | 0,60 a 0,70 |
| Edificações com poucas superfícies livres: partes residenciais com construções cerradas e ruas pavimentadas; | 0,50 a 0,60 |
| Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas; | 0,25 a 0,50 |
| Subúrbios com alguma edificação: parte de arredores e subúrbios com pequena densidade de construção; | 0,10 a 0,25 |
| Matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação. | 0,05 a 0,20 |

Fonte: Wilken (1978).

- **ESCOAMENTO SUPERFICIAL E ALTERAÇÃO NA COBERTURA VEGETAL**

A Tabela 3 mostra a influência antrópica na capacidade de retenção de água, indicando uma maior infiltração para florestas intactas e uma

diminuição em função da remoção da vegetação em diferentes tipos de antropismo. No caso da transformação de floresta para pastagem degradada, ocorre uma perda de 59.8% da capacidade de infiltração de água pelo solo, resultando em um maior escoamento superficial (LIMA, 1986).

Tabela 3 - Relação da infiltração média em diferentes tipos de cobertura florestal.

| CARACTERÍSTICA DA SUPERFÍCIE | INFILTRAÇÃO (mm/h) |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Piso florestal Intacto | 59,9 |
| Piso removido mecanicamente | 49,3 |
| Piso queimado anualmente | 40,1 |
| Pastagem degradada | 24,1 |

Fonte: Lima (1986)

Winken (1978) mostrou a variação do valor do deflúvio em diferentes usos em uma bacia e resumiu a influência do uso da terra e as condições de superfície para diferentes tipos de solos (Tabela 4).

Onde:

- O solo do tipo A localiza-se em terrenos muito permeáveis e são formados por sedimentos com pouco silte e argila, apresentando o mais baixo potencial de deflúvio;
- O solo tipo B, após o completo umedecimento, torna-se muito permeável com características acima da média e são formados por solos arenosos;
- O solo tipo C tem permeabilidade abaixo da média após a pré-saturação. Na sua composição possui considerável proporção de argila e colóide².
- O solo tipo D é formado por sedimentos argilosos e caracterizado por ter o mais alto potencial de deflúvio, em função de ser muito impermeável junto à superfície.

² Colóides são sistemas nos quais um ou mais componentes apresentam pelo menos uma de suas dimensões dentro do intervalo de 1nm (10^{-9} m) a 1000nm (JUNIOR; VARANDA, 1999).

Burger (1976) observou que o escoamento superficial da água é inversamente proporcional à cobertura florestal, entretanto, a relação indicada pelo autor de cobertura vegetal de 0% resultando em um escoamento superficial de 100% pode não ser correta. Em áreas de dunas, a cobertura vegetal é de aproximadamente 0% e o escoamento superficial é praticamente inexistente (Tabela 5).

Tabela 4 - Valores do número de deflúvio (N) para diferentes uso da terra e diferentes tipos de solos.

| Utilização da terra | Condições de superfície | Tipos de solos de área | | | |
|--|------------------------------------|------------------------|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| Terrenos cultivados | Com sulcos retilíneos | 77 | 86 | 91 | 94 |
| | Em fileiras retas | 70 | 80 | 87 | 90 |
| Plantações regulares | Em curvas de nível | 67 | 77 | 83 | 87 |
| | Terraceado em nível | 64 | 73 | 79 | 82 |
| | Em fileiras retas | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Plantações de cereais | Em curvas de nível | 62 | 74 | 82 | 85 |
| | Terraceado em nível | 60 | 71 | 79 | 82 |
| | Em fileiras retas | 62 | 75 | 83 | 87 |
| Plantações de legumes ou campos cultivados | Em curvas de nível | 60 | 72 | 81 | 84 |
| | Terraceado em nível | 57 | 70 | 78 | 89 |
| | Pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | Normais | 49 | 69 | 79 | 94 |
| | Boas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Pastagens | Pobres, em curvas de nível | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | Normais, em curvas de nível | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | Boas, em curvas de nível | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Campos permanentes | Normais | 30 | 58 | 71 | 78 |
| | Esparsas, de baixa transpiração | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | Normais | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | Densas, de alta transpiração | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Chácaras Estradas de terra | Normais | 59 | 74 | 82 | 86 |
| | Más | 72 | 82 | 87 | 89 |
| | De superfície dura | 74 | 84 | 90 | 92 |
| Florestas | Muito esparsas, baixa transpiração | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | Esparsas | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | Densas, alta transpiração | 26 | 52 | 62 | 69 |
| | Normais | 36 | 60 | 70 | 76 |
| Superfícies impermeáveis | Áreas urbanizadas | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fonte: (WILKEN, 1978)

Tabela 5 - Relação entre a proporção da cobertura vegetal com o escoamento superficial (modificado de BURGER, 1976)

| COBERTURA VEGETAL | ESCOAMENTO SUPERFICIAL |
|-------------------|------------------------|
| % | % |
| 8 | 77 |
| 40 | 58 |
| ... | ... |
| 90 | 43 |
| 100 | 25 |

-
- **Obras Hidráulicas:** As intervenções realizadas modificam o traçado e a declividade dos cursos d'água, alterando a velocidade das águas que escoam superficialmente até atingir as calhas naturais de maior porte. Como exemplos de obras hidráulicas, temos:
 - **Barragem:** A barragem acumula a água em seu reservatório, o que ocasiona uma redução das máximas vazões e retarda a sua propagação no canal para a jusante;
 - **Retificação do canal:** É construída com a finalidade de aumentar a vazão de um canal, devido o aumento da declividade e afastamento mais rápido da onda de enchente;

 - **Características Térmicas:** É importante conhecer e analisar a troca de calor entre as superfícies de uma bacia com a atmosfera, a fim de determinar as suas características térmicas. Entre os fatores que influenciam e que possuem uma ligação direta com a localização da bacia hidrográfica, temos (TUCCI, 2005):
 - **Latitude:** É determinante na caracterização da amplitude térmica, sendo mínima no equador e máxima nos pólos;
 - **Proximidade do mar:** Possui uma função importante e interfere diretamente na amplitude térmica. Nas regiões costeiras, apresentam certa uniformidade térmica e nas regiões continentais áridas, apresentam as maiores amplitudes térmicas;
 - **Altitude:** Geralmente, as regiões mais elevadas possuem temperatura mais baixas, ou seja, com o aumento da altitude a temperatura diminui;
 - **Vegetação:** Existe uma diferença que varia normalmente de 10° a 20° C entre uma área coberta por floresta e uma área desmatada. Isso deve-se à menor proporção de energia solar que atinge o solo e à parte do calor absorvido pela vegetação durante o processo de evapotranspiração;

- **Variação Diurna (Tempo):** A variação da temperatura ao longo do dia caracteriza-se pelo aumento da temperatura ao amanhecer e chega ao máximo entre 1 a 3 horas depois que o sol tenha atingido o seu ponto de maior elevação no horizonte. Devido à transladação da Terra, essa variação muda no decorrer do ano, sendo maior ou menor conforme a localização geográfica da bacia.

2.6. ENCHENTES E SEUS EFEITOS

Segundo UN-ISDR 2002, as inundações e enchentes são resultados de problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, ou seja, aqueles de origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Segundo Souza (1998), as chuvas são relacionadas com a quantidade e intensidade da precipitação atmosférica. Já a magnitude e frequência das inundações estão relacionadas à intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem. A Figura 8 ilustra a diferença entre uma situação normal do volume de água no canal de um curso d'água e nos eventos de enchente e inundação (TOMINAGA et al.,2009).

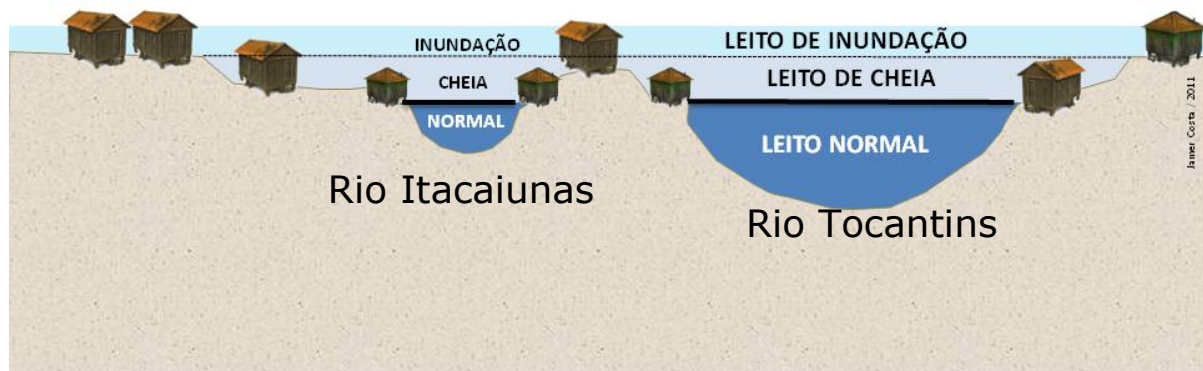


Figura 8 - Modelo representativo das alterações dos níveis do rio ocasionando as enchentes e inundações em Marabá. Fonte: Jamer Costa 2011

A Estratégia Internacional para Redução de Desastres (International Strategy for Disaster Reduction – ISDR) considera desastre uma grave interrupção do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas iguais ou maiores do que 14 vítimas, além de impactos materiais, econômicos ou ambientais de grande extensão, cujos efeitos excedam a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada em arcar, com seus próprios recursos, a sua recuperação (NAÇÕES UNIDAS - UNISDR, 2009).

O monitoramento de desastres naturais, como as enchentes, é fundamental para o planejamento de ações preventivas e mitigadoras, assim como para a criação de políticas públicas. O Brasil é classificado como um dos países do mundo mais afetados por inundações e enchentes, com mais de 60 desastres cadastrados no período de 1974 a 2003 (Gráfico 3). As estatísticas históricas de desastres causados por inundações e enchentes cadastrados no Brasil, de 1940 até 2008, revelam a importância da ação do governo em agir preventivamente para diminuir os números de mortes e vítimas afetadas pelas inundações/enchentes (Tabela 6).

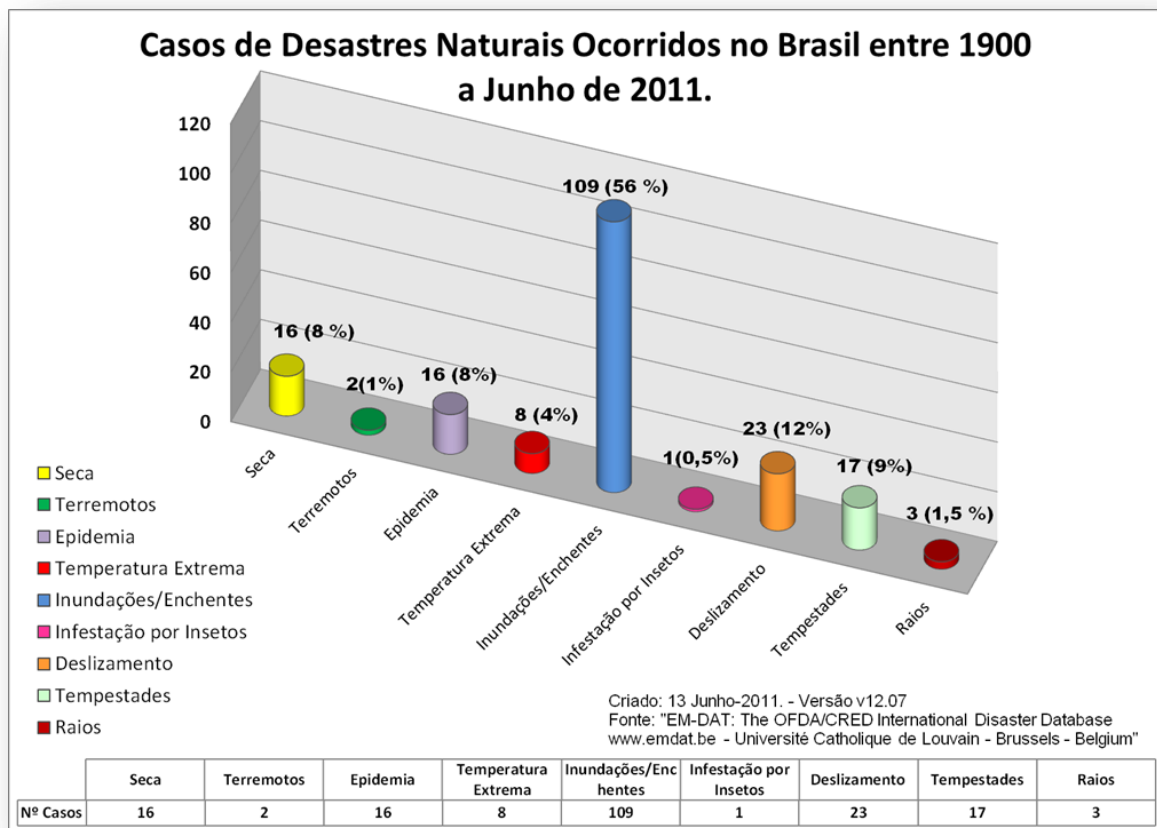


Gráfico 3 - Ocorrência relativa e absoluta de desastres naturais no Brasil entre 1900 a junho de 2011. (Fonte: EM- DAT/OFDA/CRED 2011).

Tabela 6 - Registros dos números de mortes em Inundações no Brasil no período de 1940 a 2008. (Fonte: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)

| Período | Nº de Eventos | Nº de Mortes | Nº de Afetados (Desabrigados/Desalojados) |
|-----------|---------------|--------------|--|
| 2000-2008 | 27 | 776 | 2.466.592 |
| 1990-1999 | 20 | 386 | 317.793 |
| 1980-1989 | 23 | 1598 | 8.789.613 |
| 1970-1979 | 11 | 1142 | 2.902.371 |
| 1960-1969 | 13 | 1818 | 825.986 |
| 1950-1959 | 2 | 212 | SEM REGISTRO |
| 1940-1949 | 1 | 200 | SEM REGISTRO |

No Brasil, entre os dez maiores desastres naturais em número de mortes que ocorreram entre 1900 e 2011, seis estão relacionados a inundações e enchentes (Tabela 7).

Tabela 7 - Os dez maiores desastres naturais em número de mortes no Brasil (1900-2011). (Fonte: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)

| Desastre | Data | Nº Mortos |
|----------------------|------------|-----------|
| Epidemia | 1/1/1974 | 1500 |
| Inundações/Enchentes | 11/1/2011 | 806 |
| Inundações/Enchentes | 23/1/1967 | 785 |
| Deslizamento | 19/3/1967 | 436 |
| Inundações/Enchentes | 11/1/1966 | 373 |
| Deslizamento | 11/1/1966 | 350 |
| Inundações/Enchentes | 14/3/1969 | 316 |
| Inundações/Enchentes | Janeiro/79 | 300 |
| Epidemia | Maio/84 | 300 |
| Inundações/Enchentes | 1988 | 300 |

Já em relação ao número de pessoas afetadas, cinco estão entre os dez maiores desastres, com um total de 10.179.949 afetados, que foram causados por inundações e enchentes (Tabela 8).

Tabela 8 - Os dez maiores desastres naturais em número de pessoas afetadas no Brasil (1900-2011). (Fonte: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)

| Desastre | Data | Número de Afetados |
|----------------------|-------------|---------------------------|
| Seca | 1/9/1983 | 20000000 |
| Seca | 1/8/1970 | 10000000 |
| Seca | 1/4/1998 | 10000000 |
| Seca | 1/6/1905 | 5000000 |
| Deslizamento | 11/1/1966 | 4000000 |
| Inundações/Enchentes | 2/2/1988 | 3020734 |
| Inundações/Enchentes | 1/1/1983 | 3008300 |
| Inundações/Enchentes | Novembro/08 | 1500015 |
| Inundações/Enchentes | Janeiro/79 | 1500000 |
| Inundações/Enchentes | 39925 | 1150900 |

Com relação aos aspectos econômicos, entre os dez maiores desastres naturais que mais causaram prejuízos, seis são oriundos de inundações/enchentes (Tabela 9), e representam 4,9 bilhões de dólares em prejuízos (Fonte: EM-DAT/OFDA/CRED 2011).

Tabela 9 - Os 10 maiores desastres naturais em prejuízos ocorridos no Brasil (1900-2011).
Fonte: EM-DAT/OFDA/CRED 2011.

| Desastre | Data | Prejuízo (US\$) |
|----------------------|-------------|------------------------|
| Seca | 1978 | 2.300.000.000,00 |
| Seca | Dezembro/04 | 1.650.000.000,00 |
| | | |
| Inundações/Enchentes | Junho/84 | 1.000.000.000,00 |
| Inundações/Enchentes | Junho/84 | 1.000.000.000,00 |
| Inundações/Enchentes | 2/2/1988 | 1.000.000.000,00 |
| Inundações/Enchentes | 22/11/2008 | 750.000.000,00 |
| Seca | Novembro/85 | 651.000.000,00 |
| Inundações/Enchentes | 19/6/2010 | 602.000.000,00 |
| Temperatura Extrema | Julho/75 | 600.000.000,00 |
| Inundações/Enchentes | 22/4/2009 | 550.000.000,00 |

A Tabela 10 faz um resumo dos desastres naturais que ocorreram no Brasil de 1900 a junho de 2011. Para os eventos de inundações/enchentes e secas não há o registro do dia e nem do mês em que ocorreram. Para os outros desastres, anteriores a 1974, não há registros nem dos dias, nem dos meses.

Os eventos meteorológicos são responsáveis comumente pelas ocorrências de desastres naturais na Amazônia, podendo ser cíclicos ou não. Estes causam, principalmente, enchentes, estiagens ou secas, enxurradas, erosões lineares, voçorocas e vendavais, além de contribuírem para o aumento de doenças tropicais, como a leishmaniose e a malária (SANTOS, 2008)

Tabela 10 - Resumo dos Desastres ocorridos no Brasil entre 1900 a 2011.
(Fonte: EM- DAT/OFDA/CRED 2011)

| | | Nº Eventos | Mortes | Total Afetados | Prejuízos (US\$) |
|--------------------------------|---|-------------|-----------------|------------------|------------------|
| Secas | Secas | 16 | 20 | 47812000 | 4723100 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>1.3</i> | <i>2988250.0</i> | <i>295193.8</i> |
| Terremotos | Terremotos | 2 | 2 | 23286 | 5000 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>1.0</i> | <i>11643.0</i> | <i>2500.0</i> |
| Epidemias | Não Especificada | 2 | 303 | 235 | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>151.5</i> | <i>117.5</i> | <i>-</i> |
| | Doenças Infecciosas Bacterianas | 5 | 1696 | 45893 | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>339.2</i> | <i>9178.6</i> | <i>-</i> |
| | Doenças infecciosas virais | 9 | 218 | 994095 | - |
| <i>Média por evento</i> | | <i>24.2</i> | <i>110455.0</i> | <i>-</i> | |
| Temperaturas extremas | Ondas de Frio | 5 | 154 | 600 | 1075000 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>30.8</i> | <i>120.0</i> | <i>215000.0</i> |
| | Ondas de Calor | 3 | 201 | - | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>67.0</i> | <i>-</i> | <i>-</i> |
| Inundações/Enchentes | Não Especificada | 51 | 4016 | 8155931 | 2887814 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>78.7</i> | <i>159920.2</i> | <i>56623.8</i> |
| | Enchentes | 7 | 591 | 245331 | 175770 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>84.4</i> | <i>35047.3</i> | <i>25110.0</i> |
| | Inundações | 51 | 2845 | 9032894 | 4186170 |
| <i>Média por evento</i> | | <i>55.8</i> | <i>177115.6</i> | <i>82081.8</i> | |
| Infestações por Insetos | Não Especificada | 1 | - | 2000 | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>-</i> | <i>2000.0</i> | <i>-</i> |
| Deslizamentos | Desmoronamentos | 23 | 1656 | 4237484 | 86027 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>72.0</i> | <i>184238.4</i> | <i>3740.3</i> |
| Tempestades | Não Especificada | 7 | 277 | 50076 | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>39.6</i> | <i>7153.7</i> | <i>-</i> |
| | Ciclones Extratropicais (Tempestades de Inverno) | 1 | 3 | 1600 | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>3.0</i> | <i>1600.0</i> | <i>-</i> |
| | Tempestades Locais | 8 | 66 | 11356 | 91000 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>8.3</i> | <i>1419.5</i> | <i>11375.0</i> |
| | Ciclones Tropicais | 1 | 4 | 150060 | 350000 |
| <i>Média por evento</i> | | <i>4.0</i> | <i>150060.0</i> | <i>350000.0</i> | |
| Queimadas | Incêndios Florestais | 1 | - | - | - |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>-</i> | <i>-</i> | <i>-</i> |
| | Incêndios em Pastagens | 2 | 1 | 12000 | 36000 |
| | <i>Média por evento</i> | | <i>0.5</i> | <i>6000.0</i> | <i>18000.0</i> |

Informações da Defesa Civil estadual do Pará indicam o quanto as inundações/enchentes são responsáveis pela maioria dos desastres ocorridos no estado em 2008, o que pode ser demonstrado pelo grande número de pessoas afetadas em decorrência das inundações/enchentes (Gráfico 4).

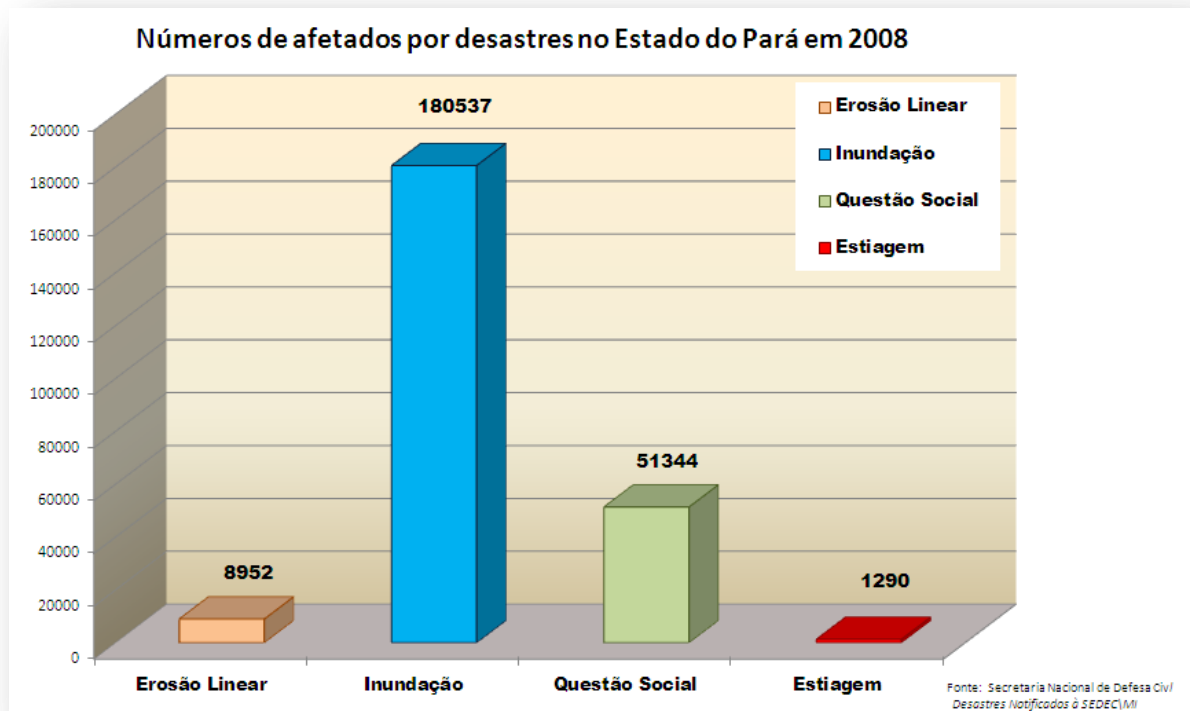


Gráfico 4 - Número de afetados por desastres naturais no ano de 2008 no estado do Pará (fonte: Defesa Civil do Estado do Pará - <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/2008/estados/pa.asp>)

As paisagens em diferentes ambientes do planeta Terra estão continuamente em mudança em resposta aos processos da dinâmica natural e da pressão das atividades humanas. O entendimento e a compreensão dos fenômenos inter-relacionados dependem de inúmeras observações em diferentes escalas espaciais e temporais. O uso de imagens de satélites artificiais tem maior vantagem na relação custo/benefício, tornando, em alguns casos, desnecessária a coleta de dados em campo para monitorar e modelar os fenômenos naturais e antrópicos, principalmente em países como o Brasil, que possui extensas dimensões territoriais. Os dados provenientes dos satélites são tratados com a utilização de programas específicos para o tratamento de imagens, possibilitando fazer inúmeras combinações de bandas, filtros, realces, gerando imagens de diferentes composições de cores, que

possibilitam a identificação e a classificação temática, como mapas de geologia, uso do solo, relevo, vegetação, agricultura, rede de drenagem, inundações, enchentes, entre outros (SANTOS, 2007).

Castro (1998) definiu desastre como o resultado de eventos adversos, de origem natural ou por antropismo, causados num ecossistema, gerando danos humanos, ambientais e/ou materiais e, conseqüentemente, prejuízos econômicos e sociais.

Nas últimas décadas, a ocorrência de desastres relacionados às chuvas tem aumentado significativamente, como consequência, dentre outros fatores, da ocupação desordenada do solo urbano associado à pobreza. No Brasil, o adensamento de moradias precárias em loteamentos irregulares próximos a rios e córregos favorece a situação de risco a inundações e enchentes. Dessa forma, embora a inesperada ocorrência do evento possa colocar os moradores em situações de depressão, na qual um misto de medos, angústias e providências urgentes de mitigação se fundem, desorganizando completamente as rotinas da vida social pública e privada da localidade, não se pode dizer que se trata de um acontecimento inesperado: há conhecimento razoável e disponível dos fatores de risco dos que ali se inserem (VALENCIO et al., 2009).

No caso de Marabá, as enchentes são recorrentes anualmente, causando transtornos às famílias que residem nessas áreas de risco e, todos os anos, o governo necessita tomar medidas paliativas, como alojar os desabrigados, distribuir de cestas básicas, entre outras ações. Existe a necessidade do governo, através da Defesa Civil, de ampliar o seu diálogo com os afetados, a fim de que as medidas de reconstrução no pós-desastre incorporem, numa perspectiva política participativa, lições das experiências adversas vividas para servir de referência na capacidade de recuperação de um ambiente frente a um impacto.

As geotecnologias são ferramentas essenciais para a realização de análises espaciais e modelagens e, portanto, permitem simular alternativas que facilitem o entendimento da ocupação e utilização do meio físico (SILVA, 1999). O Geoprocessamento, associado aos dados de Sensoriamento Remoto, auxilia na simulação das áreas sujeitas às inundações e no diagnóstico do padrão de uso do solo. Esta combinação permite, entre outras coisas, identificar novas ocupações em áreas de risco e calibrar o sistema, verificando o resultado da simulação com a superfície de água espalhada das enchentes dos rios. A disponibilidade dessas

informações possibilita estabelecer alternativas e programar ações que visem mitigar os efeitos negativos associados às inundações, uma vez que soluções para solucionar o problema são complicadas e difíceis de serem programadas, além de serem muito onerosas para a dissolução completa do risco. Em muitos casos, as soluções esbarram em questões políticas, pois é inevitável a transferência da população que reside nessas áreas de risco e que, geralmente, são próximas aos centros das cidades, como é o caso do Distrito da Marabá Pioneira.

O que ocorre, em muitos casos, é o remanejamento da população para áreas periféricas e distantes dos locais onde residiam, onde, conseqüentemente, a população remanejada não dispõe das mesmas opções de serviços, como posto de saúde, escola, bancos, transportes, etc. Geralmente, essas pessoas passam a ter despesas adicionais com transporte, já que necessitam de ônibus para o seu deslocamento cotidiano, além do tempo desperdiçado com as distâncias.

Em alguns casos, como foi observado em Belém, algumas famílias que moravam próximo aos canais foram remanejadas para vilas situadas nas proximidades das antigas casas, em áreas urbanizadas. No entanto, constatou-se que uma parte dos moradores não consegue acompanhar financeiramente as novas condições, devido ao surgimento de novas despesas como, por exemplo, o pagamento da energia elétrica, já que, anteriormente, nas invasões, estavam acostumados a utilizar os chamados “**gatos**” para obter energia elétrica roubada da concessionária. Todavia, o principal fator é a especulação imobiliária devido à nova residência ser bem localizada e o seu valor ser relativamente alto. A troca da casa por outra casa localizada em áreas mais afastadas gera oportunidade de obter vantagens econômicas, porém provoca novamente o surgimento de novos problemas, pois essa mudança ocorre normalmente para novas áreas de risco.

A identificação das áreas de inundação, utilizando os recursos das geotecnologias em áreas urbanas e em grandes áreas extensas, como em bacias hidrográficas, já é empregada em diversas partes do mundo (SIPPEL et al., 1998; BRIVIO et al., 2002; ROSENQVIST e BIRKETT, 2002; FLORENZANO et al., 1988; TUCCI, 2005; TUCCI et al., 1989; WEITZEL et al., 2007; RAIOL, 2010). A cidade de Paris por exemplo, em média, é afetada por três inundações, e uma delas é de grande porte. Na última grande enchente sofrida no ano de 1910, onde o nível do rio Sena alcançou 8,62 metros, a cidade inteira parou, ficando sem transporte público, sem eletricidade e com os esgotos estourados (Fotografia 1). Em função disso, o

governo francês vem trabalhando e se preparando para a “Enchente do Século”, já que estudos recentes sobre inundações de outros dois rios europeus, o Danúbio, em Praga, e o Tibre, em Roma, estimaram que o volume do rio Sena deverá aumentar em 15% na próxima grande enchente. Essas estimativas motivaram o governo a tomar algumas medidas, entre elas a criação da agência de águas, com a finalidade de organizar a questão da gestão dos recursos hídricos, determinando marcos legislativos, normativos e regulamentares, como a criação de comitês de bacias e de um sistema de alerta de enchente. Obras, como, por exemplo, a criação de quatro grandes reservatórios com capacidades para 830 milhões de metros cúbicos (M³), que servem de apoio durante o período de estiagens, garantem o fornecimento de água para os rios, reduzindo também o risco de inundações, devido à regulação da vazão dos rios e, por último, a garantia de uma melhor qualidade de vida aos moradores, oferecendo atividades turísticas e lazer, além de ser excelentes ambientes para o desenvolvimento da flora e da fauna. Em Paris, existem também as galerias subterrâneas que deverão ser utilizadas nos períodos de chuvas, servindo de proteção contra as inundações e as descargas de águas não tratadas ao meio ambiente, possuindo capacidade de armazenar 900 milhões de Metros Cúbicos (DONZIER, 2010).

No Brasil, existem algumas iniciativas para o controle de enchentes. Na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, foram construídos piscinões que funcionam como reservatórios temporários em períodos de inundações. No entanto, tem como desvantagem o custo de construção e manutenção. A cidade conta também com um Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). Esse sistema gera boletins a cada 5 minutos sobre as precipitações e suas consequências (TOMINAGA et al., 2009).



Fotografia 1 - Foto do centro de Paris, na “Gare de Lyon” durante as enchentes de 1910.

Fonte: Cortesia de Ekaterina Kislova, (tema: Paris Inonde, 1910), fotógrafo: Pierre Petit, Publicação: George et Allard. Impressions d'Arts. (http://historic-cities.huji.ac.il/france/paris/photos/flood/flood_1910_paris.html)



Fotografia 2 - Galerias subterrâneas de Paris com capacidade de armazenar 900.000M³. Fonte: (DONZIER, 2010)

A região do Vale do Ribeira, localizado no sul do estado de São Paulo e ao leste do estado do Paraná, que recebe este nome em função da bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e ao Complexo Estuarino Lagunar de Iguape, Cananéia e Paranaguá, também possui um Plano de Contingência às inundações na região do Vale do Ribeira (CONVAR), visando mitigar os efeitos das enchentes. Esse sistema possui acompanhamento de rede telemétrica, via satélite,

com postos instalados em localidades estratégicas da Bacia do Ribeira de Iguape, dispondo de dados pluviométricos e fluviométricos (hidrometeorológicos), o que possibilita a identificação das áreas passíveis de inundação (TOMINAGA et al., 2009).

Outra região que já possui um sistema de alerta é o Vale do Itajaí (SC). No entanto, esse sistema está restrito à realização de previsões de enchentes exclusivamente no Município de Blumenau. Foi o primeiro sistema de alerta implantado no Brasil e realiza os monitoramentos do tempo e dos níveis das águas do rio Itajaí-Açú, confecções de modelos de previsão hidrológica e cartas de risco à inundação (TOMINAGA et al., 2009).

Outras cidades como Recife (PE), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), Belo Horizonte (MG) e Vitória (ES) possuem sistemas de alertas associados a processos de escorregamentos e inundações (TOMINAGA et al., 2009).

Em geral, esses sistemas atuam em três etapas: antes, durante e depois da ocorrência de um desastre. Na Figura 9, está demonstrado um esquema das atividades previstas. Na fase anterior ao desastre, estão previstas atividades de identificação do perigo, mediante a análise de vulnerabilidade e cálculo do risco.



Figura 9 - Sequência cíclica das fases de gerenciamento de desastres

Fonte: Modificado de Thouret (2007).

Há também a etapa de prevenção por meio de avaliação, redução dos riscos com possíveis obras estruturais (Figura 10) e questões de educação ambiental. Já durante o desastre, ações como socorro, avaliação dos prejuízos e reabilitação da comunidade, com o intuito de, principalmente, facilitar a desobstrução dos acessos, têm como finalidade garantir a assistência às pessoas atingidas e, acima de tudo, socorrer as vítimas que se encontram isoladas. A etapa posterior ao desastre destina-se à reconstrução, envolvendo a recuperação da comunidade, de forma a garantir as infraestruturas urbanas que existiam antes do desastre, como pontes, estradas, portos, aeroportos, entre outros equipamentos públicos (TOMINAGA et al., 2009).



Figura 10 - Exemplos de obras estruturais.
Fonte: (SANTOS, 2007)

2.7. DESASTRES NATURAIS

Segundo White (1974), nem todos os terremotos, furacões e enchentes são considerados **Desastres Naturais** (*Natural Hazards*). São considerados desastres naturais os fenômenos da Natureza que interferem ou ocorrem em áreas ocupadas pelo homem, gerando prejuízos, danos e, principalmente, colocando em **perigo** a população atingida. É por isso que um desastre (*hazard*) não é natural em si, mas está relacionado a um evento que ocorre na interface sociedade-natureza (MARANDOLA JR; HOGAN, 2004).

O termo **Risco** (*risk*) traz a incerteza e a insegurança no futuro na ocorrência de uma situação. Nesse contexto, existem **regiões de risco** (*regions of risk*) ou **regiões em risco** (*regions at risk*), que são regiões **suscetíveis** à ocorrência de um desastre (*hazard*). E, nesse caso, o risco está sempre associado a um sentido **danoso** e de **perigo**. Risco é a probabilidade de realização de um perigo, enquanto o desastre é o resultado de um perigo derivado de um risco, ou seja, não há perigo sem risco, nem risco sem perigo (Figura 11). A ocorrência de um perigo potencial está associada a um risco, enquanto um risco só existe a partir de um fenômeno, seja potencial ou consumado (MARANDOLA JR; HOGAN, 2004).

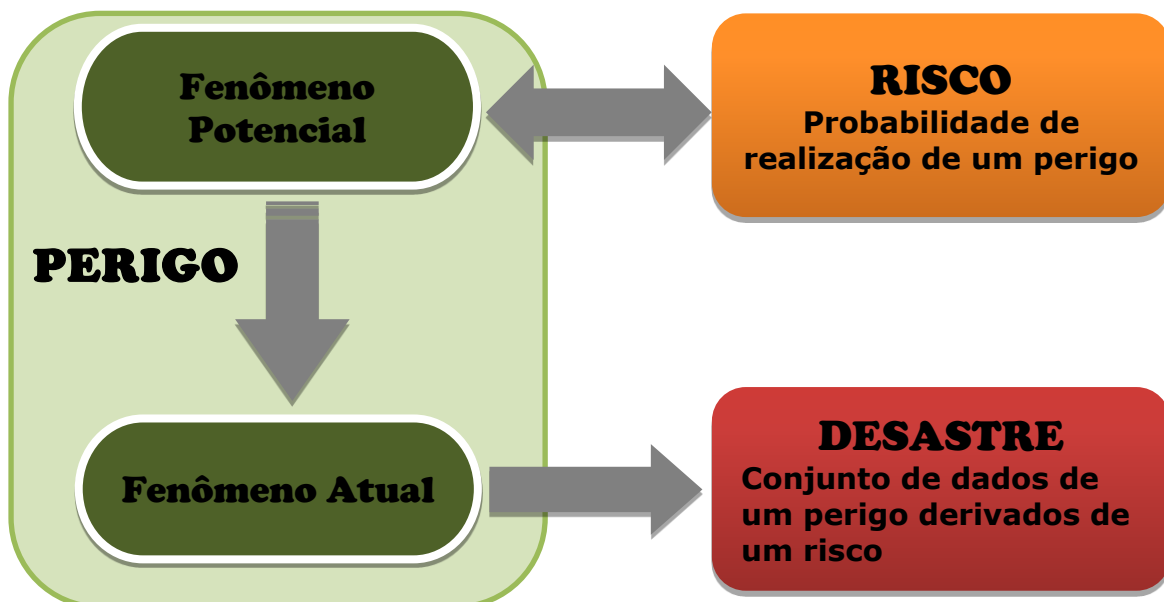


Figura 11 - Relações entre os conceitos de risco, perigo e desastre.

Fonte: Modificado de Eneas de Castro (2000).

A ocorrência de desastres naturais pode ser originada por inúmeros fenômenos, tais como: inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades, estiagem, entre outros. A Figura 12 apresenta os tipos de

riscos e como o risco, que é entendido como a medida ou potencial de ocorrência de danos à vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências), correlaciona-se com desastres naturais concernentes à geodinâmica terrestre externa, conforme a CETESB (2003)(Figura 13).

As modificações ocasionadas pela ocupação acelerada e desorganizada nas cidades permitem que, cada vez mais, um número crescente de famílias ocupe áreas impróprias. Esse problema, associado às mudanças na intensidade dos fenômenos naturais que vêm ocorrendo nas últimas décadas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, aumenta as situações de perigo. (CETESB, 2003).

Na Amazônia, é muito importante a criação de sistemas de alertas de acidentes naturais, pois tais sistemas têm uma importância social muito grande, devido aos problemas ambientais extremos, principalmente hidrológicos, que afetam diretamente a população que vive às margens dos rios. Esses problemas provocam enchentes e estiagens que afetam diretamente a população local. Portanto, a relevância social desta dissertação está na geração de informação em tempo real e no fornecimento de boletins de alerta mais detalhados, com possibilidade de quantificar (com geração de tabelas, gráficos e relatórios), espacializar (através de mapas) e identificar exatamente a população atingida. Além disso, permite que o poder público e a sociedade civil possam ter essa ferramenta em mãos na hora de tomar decisões e providências que antecedem a situação de calamidades. Na maioria dos casos, o não atendimento em tempo hábil gera grandes dificuldades para a operacionalização do socorro às vítimas, em decorrência do gerenciamento da ação de defesa civil que implica em aquisição de alimentos, cobertores, transportes para grandes distâncias, armazenamento, pessoal para apoio, montagem, locais de abrigos, materiais para construção de abrigos, pessoal para orientar famílias, atendimento à saúde, obstrução de estradas, custo dos transportes, combustível, acompanhamento das famílias, readaptação das famílias e outros que ocorrem em situações de emergências (SANTOS, 2008; SILVA et al., 2005; CEDEC, 2011).

2.8. AQUECIMENTO GLOBAL E VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Aquecimento Global é um termo adotado para retratar o incremento além do nível considerado “normal”, da capacidade da atmosfera em reter calor (PINTO et

al., 2010). Os resultados dos diversos modelos climáticos globais sugerem que as mudanças climáticas globais provocadas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, deverão afetar principalmente as atividades humanas e os ecossistemas da Terra, principalmente os recursos hídricos e as regiões costeiras. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que, ainda neste século, ocorrerá aumento da temperatura por todo o planeta. Seus impactos serão mais intensos nos continentes do que nos oceanos, no entanto, estes terão seus níveis aumentados (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007). Outro alerta deste relatório refere-se às regiões que atualmente sofrem com a escassez de água, cuja tendência será piorar ainda mais. Já as regiões bem abastecidas por chuvas sofrerão uma maior intensificação no volume e frequência da precipitação dos eventos extremos, como as inundações, furacões e estiagens prolongadas (CÂNDIDO et al., 2007). Na opinião de outros pesquisadores, contudo, as mudanças climáticas estão associadas a inúmeros fatores, entre eles as variações de intensidade solar, variações da inclinação do eixo de rotação da Terra, alterações na excentricidade da órbita terrestre, variações das atividades vulcânicas e da composição química da atmosfera, entre outros (MOLION, 2010).

A Amazônia tem um papel fundamental na questão referente às mudanças climáticas e tem influência direta com o ciclo do carbono, devido às ocorrências de queimadas durante o processo de desmatamento que geram a emissão de gás carbônico (CO₂) para atmosfera, causando gradual aumento da temperatura média decorrente do efeito estufa e, além disso, o equilíbrio da atmosfera da Amazônia está sujeito às variações climáticas (FEARNSIDE, 2006).

Existem dados das oscilações climáticas na Amazônia ocorridas durante as glaciações e das recentes alterações da temperatura local, influenciadas diretamente pelos efeitos de fenômenos naturais como o *El Niño* e *La Niña*. A influência desses fenômenos que modificam o comportamento do clima pode variar de períodos anuais, de décadas e milênios. Nesse processo, o homem não consegue interferir, mas apenas tomar medidas necessárias para mitigar seus efeitos quando houver previsões científicas, a exemplo das variações climáticas provocadas pelo *El Niño* e *La Niña*. A região Norte do Brasil é uma área do globo terrestre que está diretamente afetada pelos efeitos do *El Niño*, caracterizado pela diminuição da precipitação na região (Figura 14) (GRIMM; ZARATINI; MARENGO, 1998).

2.9. PANORAMA MUNDIAL, NACIONAL E LOCAL

Os desastres ocorrem como consequência de um risco natural ou de uma fonte causada por atividades antrópicas em áreas inadequadas. Nos últimos dez anos, vivenciamos a ocorrência de quatro grandes tragédias naturais em nosso planeta: o furacão Katrina que destruiu a cidade de New Orleans (EUA), o tsunami que varreu o sudeste asiático, o terremoto que devastou o Haiti e o terremoto no Japão que reduziu o PIB Japonês até o momento em 2%, causando a morte de aproximadamente 25 mil pessoas e provocando um dos maiores acidentes nucleares já registrados, acumulando até o momento prejuízos superiores a 300 bilhões de dólares (TOMINAGA et al., 2009).

Um fator agravante na ocorrência desses desastres é a ocupação das áreas vulneráveis (Fotografia 3), tornando-se um dos maiores problemas devido à falta de planejamento urbano durante a ocupação dos espaços (Figura 15).

A urbanização é espontânea, e o planejamento desses espaços ocorre apenas para a população de maior poder aquisitivo, principalmente em condomínios fechados para as classes média e alta. Já para os menos aquinhoados, a ocupação normalmente ocorre nas áreas vulneráveis de forma irregular e clandestina. É importante que haja um planejamento durante o processo de ocupação com o cuidado de realizar estudo para mapear as áreas impermeáveis (parâmetro hidrológico) e a densidade urbana (parâmetro de planejamento urbano). Entre os fatores que provocam a urbanização sem planejamento, temos: valor baixo da propriedade, ocupação por imigrantes nas áreas periféricas e vulneráveis, questões ligadas ao déficit de emprego, renda e de imóveis, as invasões que ocorrem nos terrenos vazios, usados normalmente para especulação imobiliária, invasões realizadas em terrenos públicos, principalmente às vésperas de eleições como forma de pressão social e política, legislações muitas vezes equivocadas e outras não colocadas em práticas para o controle do espaço urbano, inabilidade dos governos em investir com planejamento no desenvolvimento dos espaços urbanos, crises nacionais e internacionais que se refletem na economia geral e colocam essas questões sempre em segundo plano (Fotografia 4) (TUCCI; ALLASIA, 2006).

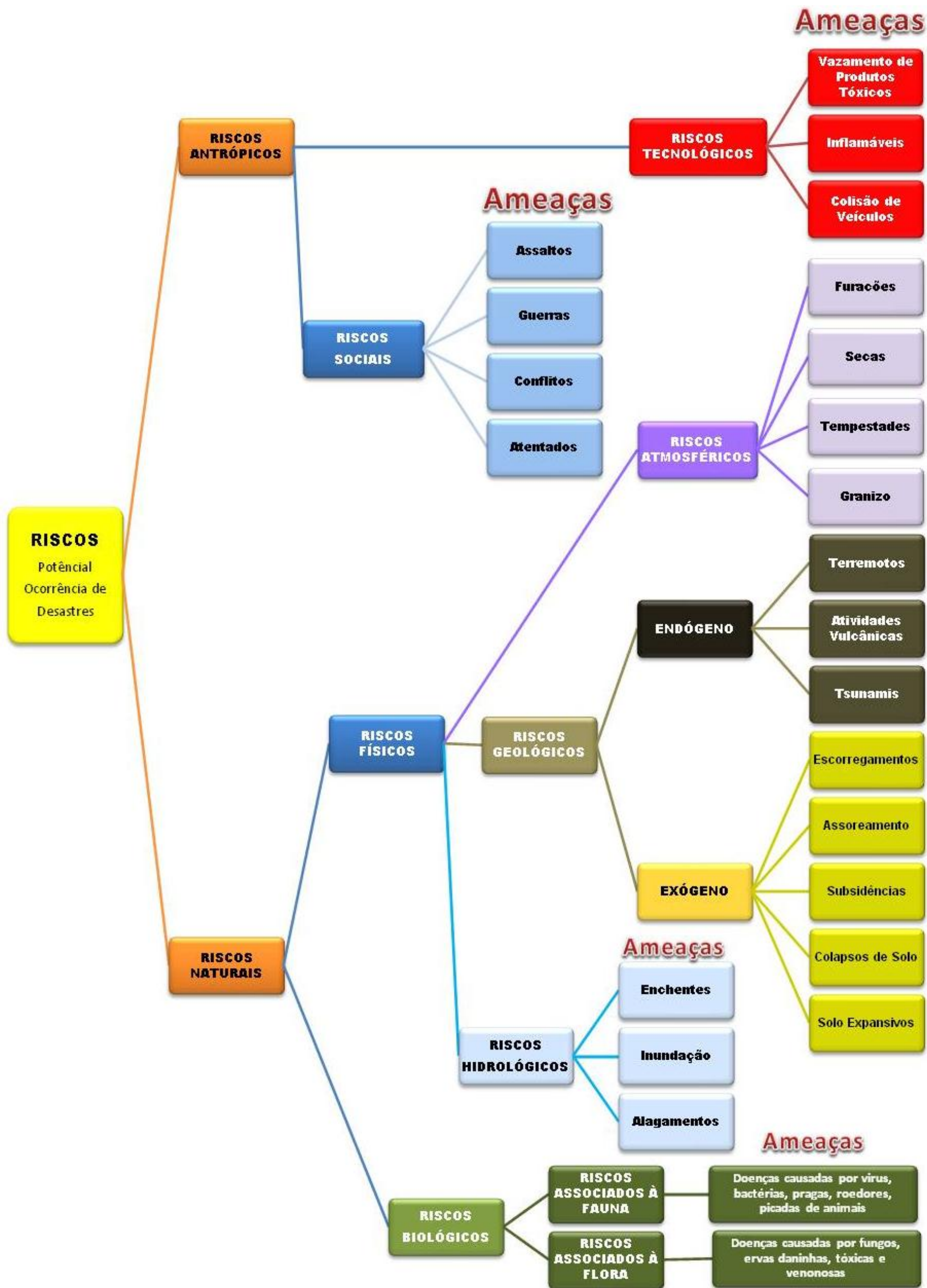


Figura 12 - Tipos de riscos

Fonte: Elaborado por Jamer Andrade da Costa (2011) – Fonte: EM-DAT, UCL: Brussels, <http://www.emdat.be>.

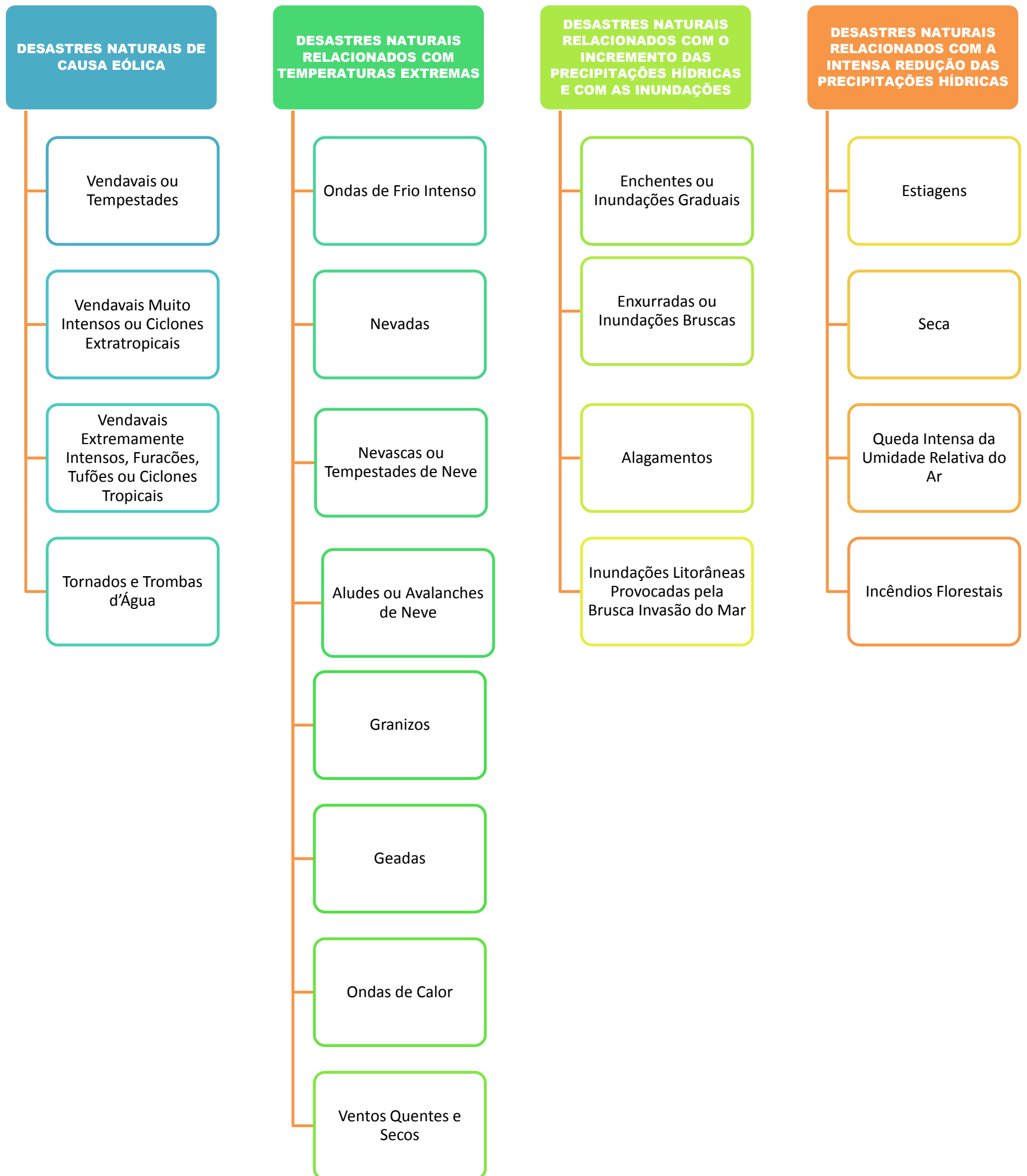


Figura 13 - Relação de risco e desastres naturais relacionados com a geodinâmica terrestre externa do planeta terra.

Fonte: Elaborado por Jamer Andrade da Costa (2011)

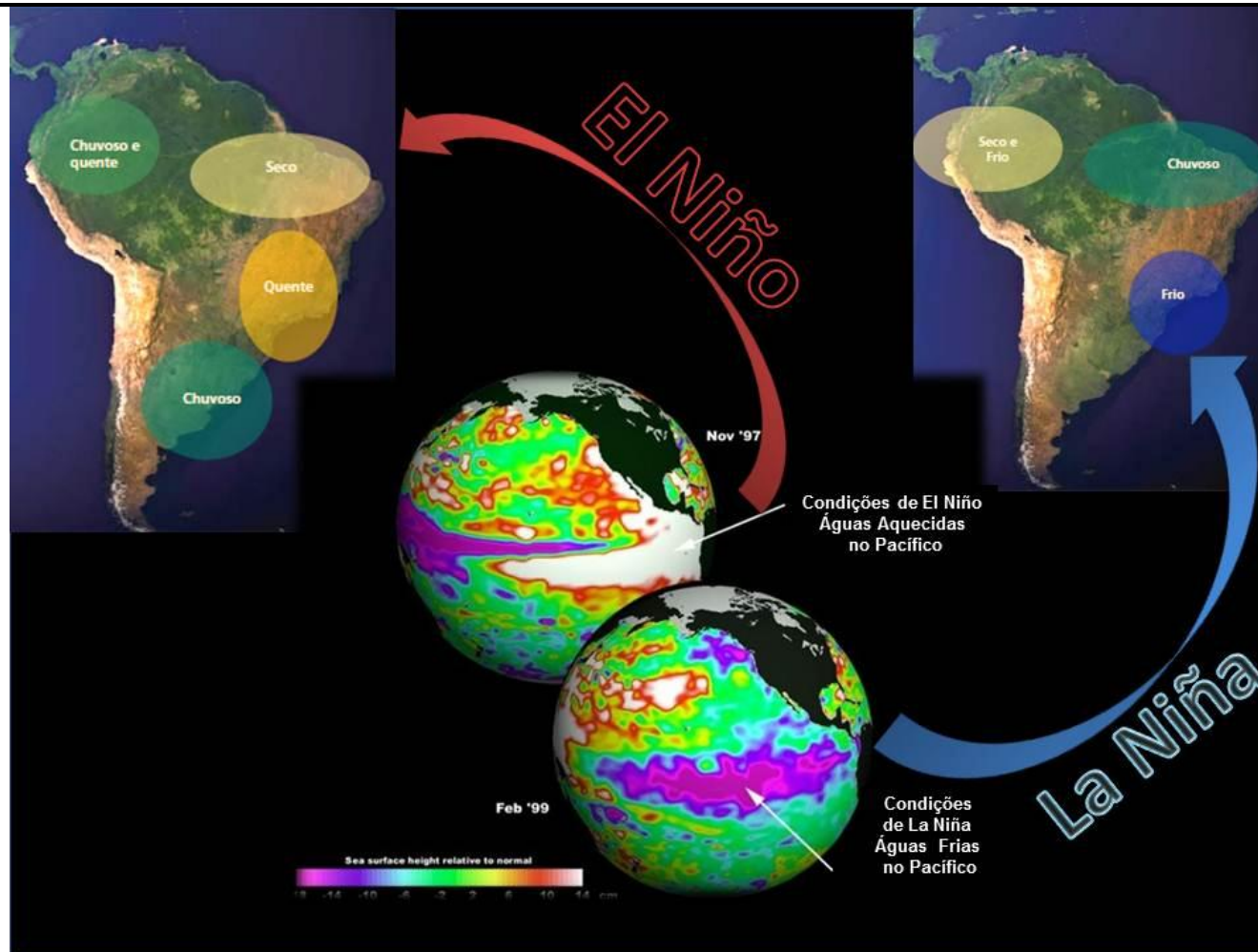


Figura 14 - Os fenômenos El Niño e La Niña, indicando o aquecimento e o resfriamento anômalo das águas superficiais Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental e suas consequências na América do Sul. Fonte: Adaptado de Height of ocean surface. TOPEX/POSEIDON - Jason1 data (Nov.97 and Feb.99) - NASA/JPL.



Figura 15 - Influência da falta ordenamento urbano na aceleração do escoamento superficial.
Fonte: Modificado de Tucci (2004)



Fotografia 3 - Exemplo de moradias em área de risco em Belém (Igarapé Tucunduba).
Fotografia: Jamer Costa (10/09/2011)

As inundações urbanas ocorrem quando as águas dos igarapés, rios e das galerias pluviais extrapolam os limites do leito de escoamento normal, em virtude do aumento do fluxo, atingindo áreas ocupadas por moradias, vias de acessos, equipamentos públicos, comércio, indústria, entre outros. As inundações eram consideradas processos naturais por inundar as margens dos rios e o homem não interferia nesse processo, apenas sofria por ocupar essas áreas de risco.



Fotografia 4 - Exemplo de moradias em área de risco em Marabá (Cabelo Seco).

Fotografia: Jamer Costa (2010)

O problema está nas ocorrências de precipitação intensa e na incapacidade do solo de infiltrar boa parte da água que passa, então, a escoar pela superfície, extrapolando a capacidade normal de vazão do leito do canal principal. O excedente dessa água passa a ocupar as áreas adjacentes aos rios, denominadas de planícies de inundação ou várzea, isso é quando existirem, de acordo com as características topográficas da região próxima ao leito do rio. Esse fenômeno é conhecido como inundação ribeirinha e está associado a processos climáticos locais e regionais (TUCCI, 2004).

2.10. O PAPEL DAS GEOTECNOLOGIAS

Devido à dinâmica nos fenômenos ambientais e ao avanço desordenado das ocupações nas áreas de risco, principalmente nas margens dos rios e encostas, a utilização de geotecnologias é uma ferramenta fundamental para auxiliar, de forma eficiente, as tomadas de decisão nas Defesas Civis. As geotecnologias poderiam ajudar a modelar as possíveis áreas de risco e quantificar os números de casas e pessoas atingidas, os prejuízos econômicos gerados por ocasião de um possível desastre, assim como estimar os recursos para reestruturar as áreas afetadas. Além

disso, é possível auxiliar a equipe da Defesa Civil durante os desastres nas operações de resgate, de assistência e recuperação aos afetados.

2.10.1. TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA

Em 1949, a Organização das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 1949) reconheceu a importância da Cartografia por meio da seguinte declaração, publicada em Atas e Anais:

"CARTOGRAFIA - no sentido lato da palavra não é apenas uma das ferramentas básicas do desenvolvimento econômico, mas é a primeira ferramenta a ser usada antes que outras ferramentas possam ser postas em trabalho." (1)

(1) UNITED NATIONS. 1949. **Base maps for world needs.** Lake Success, New York, United Nations Department of Social Affairs. [Addresses the needs for map production for rebuilding post WWII Society and for alleviating poverty]

Para retratar a superfície da Terra, é necessária a realização de levantamentos geodésicos, que é a forma mais adequada e precisa para obter a obtenção de medidas e observações que permitam determinar a forma e as dimensões do nosso planeta (geóide e elipsóide). A Topografia tem um papel fundamental na cartografia e geodésia, pois é através dos levantamentos topográficos que são representados os elementos naturais e humanos da superfície terrestre, permitindo que sejam retratadas as relações espaciais das feições. A topografia divide-se em hipsografia (estudo do relevo), hidrografia (os cursos d'água e as condições de drenagem), vegetação (natural) e cultura (as modificações introduzidas pelo homem no meio físico) (IBGE, 1998).

2.10.2. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS)

Um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é uma constelação de satélites que transmite range de sinais utilizados para o posicionamento e localização em qualquer parte do globo terrestre, não importa onde se encontre, podendo ser no mar, na terra ou no ar. Esse sistema permite determinar as coordenadas geográficas e a altitude de um dado ponto como resultado da recepção dos sinais provenientes da constelação de satélites artificiais da Terra para fins de navegação, transporte, geodésica, hidrográficos, agrícolas, e outras atividades afins (MONICO, 1998).

Existem atualmente dois sistemas efetivos de posicionamento por satélite: o GPS americano e o GLONASS russo. Existem também mais dois sistemas em implantação: o Galileo europeu e o Compass chinês (Figura 16). O Sistema de Posicionamento Global, vulgarmente conhecido por GPS (acrônimo do inglês Global Positioning System), é um sistema desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, que consiste no posicionamento por satélite e utilizado para determinação da posição de um receptor na superfície da Terra ou em órbita.



Figura 16 - Sistemas Globais de Navegação por Satélite.

Com o objetivo de calibrar as medidas de nível do rio com a cota topográfica, decidiu-se utilizar o GPS de elevada precisão, pois, neste particular, trata-se de um instrumento indispensável para garantir a precisão e a correção no levantamento dos dados sobre o terreno.

Os levantamentos são classificados considerando, principalmente, o GPS, como posicionamento em tempo real ou pós-processado:

- **Tempo real:** as coordenadas são obtidas praticamente no momento do posicionamento em campo. Nesse tipo de levantamento, os dados são menos precisos. Ex.: sistemas de navegação automotivos, marítimos, aéreos etc.

- **Pós-processado:** este tipo de levantamento é de precisão e os dados coletados são processados após a coleta em campo; os dados são pós-processados no escritório. Ex.: levantamentos geodésicos de alta precisão, controle de barragens, implantação de estações de referência, etc.

O Posicionamento por Ponto Preciso é realizado com dados pós-processados. O ponto central desse método é a utilização das efemérides e correções dos relógios dos satélites, contidos nos sinais enviados pelos satélites de navegação e sua precisão é sub-métrica. Nesse método são utilizados aparelhos de dupla e simples frequência.

Já o posicionamento por ponto de alta precisão utiliza receptores de dupla frequência e, com isso, a precisão passa a ser menor do que um decímetro.

Neste trabalho, optou-se por usar Posicionamento Relativo Estático. Nesse tipo de levantamento, há a necessidade de dois ou mais receptores e as correções podem ser realizadas através das redes de referência ativas, permitindo ao usuário utilizar apenas um receptor e usar os dados destas estações.

No Brasil, temos a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) mantida pelo IBGE; em Belém, a estação encontra-se no prédio do Centro Regional de Belém (SIPAM). O conceito fundamental dessa técnica de posicionamento consiste em que os dois ou mais receptores envolvidos possam rastrear, simultaneamente, um grupo de pelo menos dois satélites comuns (DEMARQUI, 2011);

Características do Posicionamento Relativo Estático

- São necessários dois ou mais receptores para rastrear, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos, até algumas horas;
- O período de levantamento das estações é relativamente longo, somente as duplas diferenças da fase da onda portadora são normalmente incluídas como observáveis;
- Sendo a precisão da fase da onda portadora muito superior à da pseudodistância, a participação desta última não melhora os resultados de forma significativa;

- Mesmo assim, as pseudodistâncias devem estar disponíveis, pois são utilizadas no pré-processamento para estimar o erro do relógio do receptor, ou calcular o instante aproximado de transmissão do sinal pelo satélite;

Trata-se de uma técnica mais utilizada em posicionamento geodésico, particularmente em software comerciais (DEMARQUI, 2011).

Nesse sentido, o uso do GPS foi fundamental para realizarmos o levantamento das coordenadas planialtimétricas da régua limnimétrica, localizada na margem do rio Tocantins, visando a realização da calibração altimétrica.

2.10.3. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) / MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

O Modelo Digital do Terreno desempenha um papel fundamental na metodologia de risco de enchentes. Essa ferramenta produz uma superfície representativa da distribuição das cotas topográficas no espaço 3D, permitindo que sejam realizadas análises, manipulação e avaliação. Os dados de entrada para esse procedimento de análise espacial podem ser pontos cotados ou dados oriundos de bases cartográficas (digital ou papel).

A modelagem de dados altimétricos é uma das aplicações mais frequentes quando falamos de geotecnologias. Isto se deve ao fato que muitos problemas e estudos ambientais devem avaliar características determinantes como relevo, altimetria e declividade (Figura 17) (SIMÕES, 1993).

2.10.4. SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é o procedimento de registro de informações sobre algum material ou fenômeno sem estar em contato físico com ele. As imagens normalmente utilizadas em estudos ambientais podem ser fornecidas por sensores instalados em satélites ou aeroembarcados (CROSTA, 1993).

Para utilizar esses dados (imagens) e transformá-los em informações a serem utilizadas em um sistema de informações geográficas, é imprescindível a realização de um abrangente procedimento técnico de **processamento digital de imagens - PDI** (CROSTA, 1993). Na Figura 18 mostra um fluxo padrão de processamento digital de imagens.

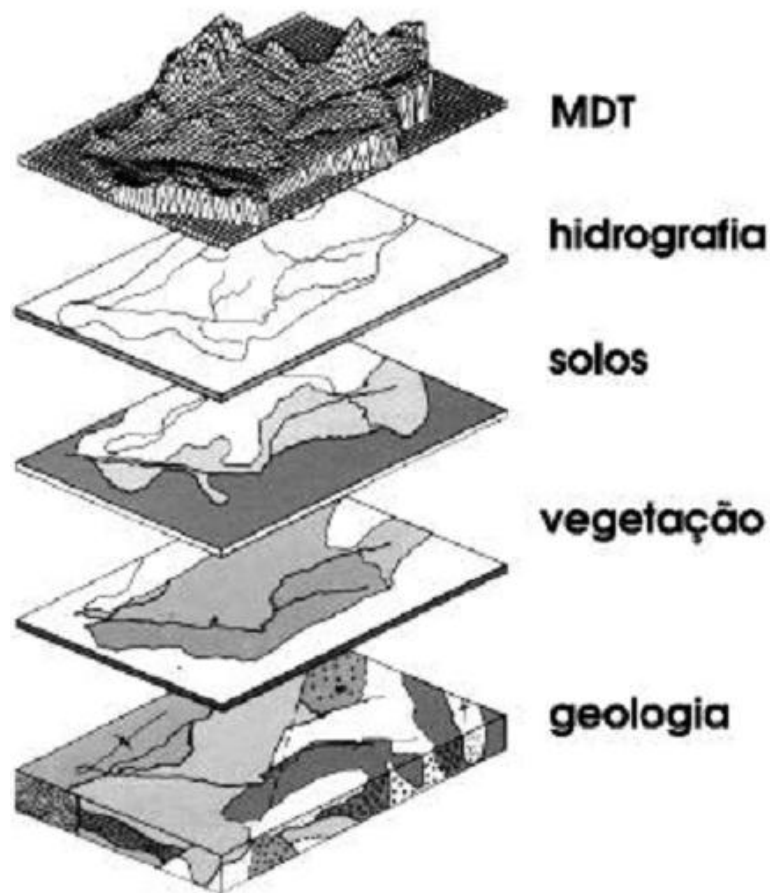


Figura 17 - O modelo digital de terreno como parte integrante de um SIG.

Fonte: (SIMÕES, 1993)

As imagens permitem identificar e quantificar a evolução da ocupação de um espaço urbano e/ou rural, das áreas de culturas agrícolas, e são indispensáveis ao planejamento urbano. Na Amazônia, devido ao seu tamanho continental, é fundamental o emprego de imagens de satélites e de aerolevantamentos. As imagens permitem a obtenção de informações de grandes extensões, de modo rápido e com baixos custos. Algumas aplicações como (MARTINS SOUZA FILHO et al., 2006):

- **Monitoramento e Conservação:** principalmente analisando os avanços do desmatamento na floresta, programas como:
 - **Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES)**, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

- **Programa de Monitoramento de Áreas Especiais - PROAE**, programa que vem sendo conduzido pelo Sistema de Proteção da Amazônia-SIPAM com o monitoramento do antropismo em Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI) e Região de Fronteira. Também são monitoradas as áreas de Assentamentos rurais e as áreas que recebem pagamentos por serviços ambientais do Bolsa Verde.

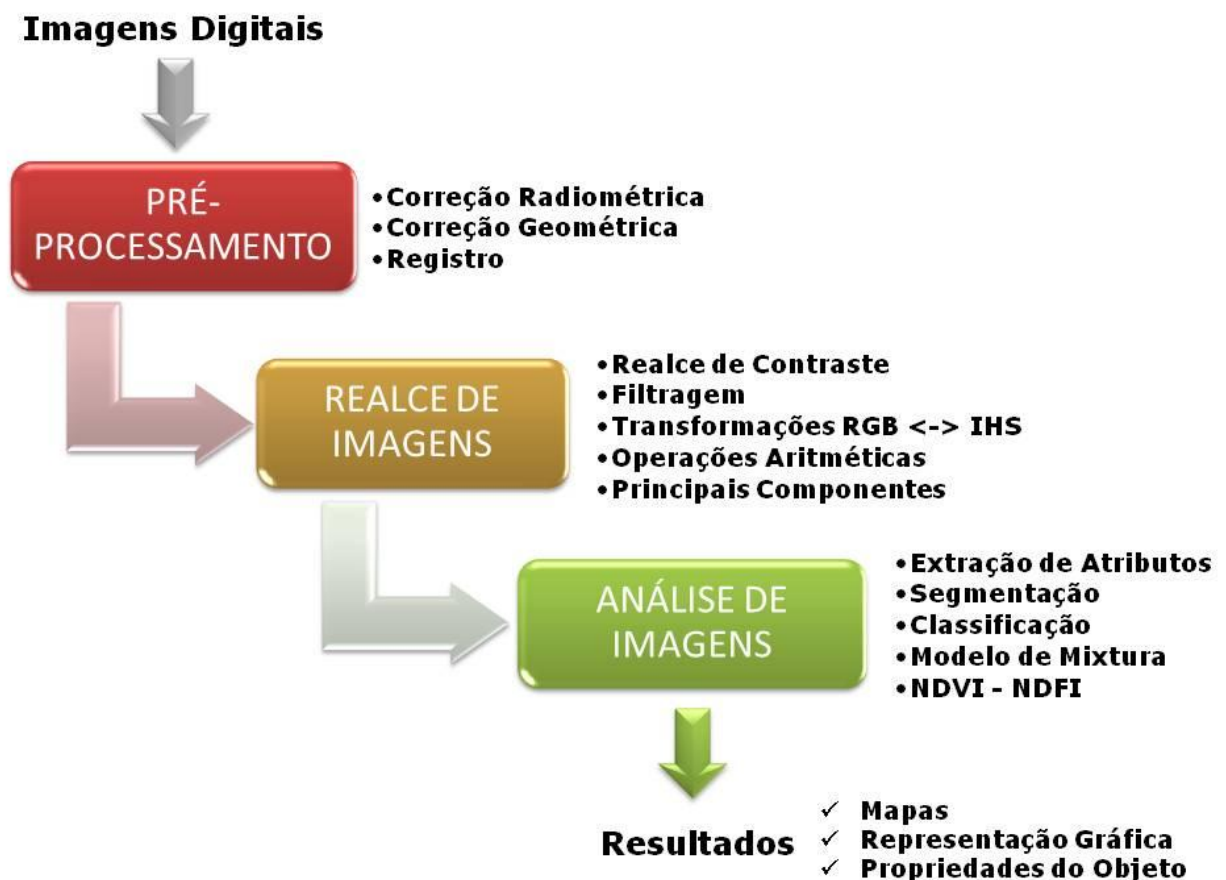


Figura 18 - Etapas do Processamento Digital de Imagens

Fonte: Crosta (1993)

- **Sensoriamento Remoto na Exploração Mineral:** as fotografias aéreas e imagens de satélite, principalmente as imagens de radar, tiveram sempre um papel fundamental na identificação de novos depósitos minerais.

É justamente nas ocorrências de desastres naturais, que essas imagens mostram o seu poder. Em muitos casos, as imagens permitem alertar cidades inteiras sobre o risco da passagem de furacões ou de outros fenômenos atmosféricos, como geadas, granizos e tempestades. Durante os desastres naturais, as imagens permitem auxiliar a Defesa Civil na tomada de decisão de suas ações de resgate e reconstrução das áreas atingidas.

2.10.5. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG

Os Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas utilizadas em inúmeras aplicações que, normalmente, envolvam uma grande quantidade de dados a serem manuseados por processos convencionais, como, por exemplo, as análises de sobreposição de mapas (overlay). Essa manipulação de dados georeferenciados pode combinar várias bases de informações de caráter sociais e/ou ambientais de uma determinada região.

“É a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informação geográfica” (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O SIG é uma tecnologia que cresce rapidamente e incorpora feições geográficas com dados tabulares que, em conjunto, servem para solução de problemas no mundo real. Segundo Obermeyer & Pinto (1994), são pré-requisitos para implementação de um SIG:

- Entendimento das possíveis aplicações de geoprocessamento no local de sua implementação;
- Conhecimento das técnicas de geoprocessamento (o conhecimento de informática está implícito);
- Entendimento dos princípios e conceitos básicos de cartografia e geografia.

A metodologia para o desenvolvimento de projetos de SIG segue as seguintes etapas(Figura 19):

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) agrega uma sofisticada interface de visualização de dados espaciais a uma base de dados sociais e ambientais, compondo uma poderosa ferramenta de análise de risco, análise de distribuição de fenômenos e de planejamento espacial. As questões urbanas

complexas de estudos de vulnerabilidades e modelagens podem ser analisadas com um SIG, podendo agregar numa mesma plataforma várias informações espaciais. Um SIG pode permitir a um planejador, além de visualizar e entender as soluções dos problemas, tomar decisões e até mesmo modelar e prever situações rapidamente, como, por exemplo, substituindo uma solução gerada pelo sistema por uma solução que leve em consideração fatores adequados para aquele contexto, como fatores ambientais, políticos e socioeconômicos.

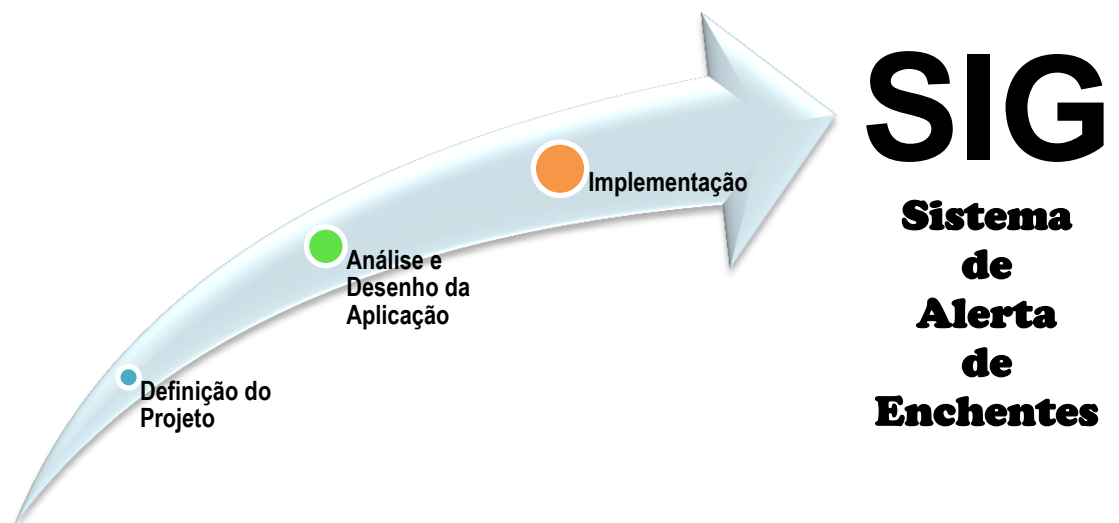


Figura 19 - Fases de um projeto de SIG.

Marcelino (2003) retrata a evolução a qual as geotecnologias (SIG, GPS, sensoriamento remoto, etc.) vêm sofrendo ao longo dos últimos anos, principalmente no mapeamento de áreas de risco das grandes e médias cidades. A maioria das aplicações que foram desenvolvidas possui a mesma forma de trabalhar. A coleta de dados das características físicas e sociais das áreas de ocorrências de acidentes ou de risco, associada aos dados pluviométricos e fluviométricos, permite criar subsídios à defesa civil na tomada de decisão, como a geração de mapas de tendência e de áreas de risco (enchentes e deslizamentos).

Para Burrough e McDonnell (1998), a representação dos conceitos de modelos espaço-temporais, ou seja, apenas a representação da superfície do planeta em grades regulares não é satisfatória. As regras que governam a dinâmica dos processos, tanto os físicos e/ou sociais, necessitam de equações iterativas, que se integram ao ambiente SIG, possibilitando a simulação de fenômenos espaço-temporais. Essa é uma tendência para os novos Sistemas de Alertas de Enchentes.

A integração da geografia quantitativa aos Sistemas de Informações

Geográficas (SIG) ainda é incipiente e pouco aplicada, principalmente no caso de modelos para os processos espaço-temporais. A maioria dos SIG trabalha muito mais como “Sistemas Cartográficos de Informação” do que como Sistema de Informação Geográfica”. Devido à natureza estática de suas representações computacionais, espera-se que nos próximos anos surjam avanços significativos nessas técnicas, especialmente no caso de modelagem dinâmica (CÂMARA et al., 2003).

A cidade de São Paulo conta com o Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo, o SAISP, que é operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). Esse sistema gera boletins a cada 5 minutos sobre as precipitações e suas consequências. O sistema produz: a) mapas de chuva observada no radar de Ponte Nova; b) leituras telemétricas em postos de localização específica e c) mapas com previsões de inundações no município de São Paulo. O SAISP possui atualmente em operação três modelos de previsão, sendo um de previsão de chuva e dois de previsão fluviométrica, utilizando as medições do nível d' água em rios (TOMINAGA et al., 2009).

A Organização das Nações Unidas (ONU) em projeto com os ministérios das Cidades e do Meio Ambiente, juntamente em parceria com governos municipais e instituições locais de cada município selecionados, entre eles: Marabá (PA), Ponta Porã (MS), Beberibe (CE) e Piranhas (AL) elaboraram relatórios técnicos que permitiram uma contínua avaliação da aplicação e integração das diversas metodologias envolvidas, principalmente por meio da utilização de Sistemas de Informações Geográficas das questões referente ao mapeamento das áreas vulneráveis à desastres naturais (RAIOL, 2010).

A cada ano, surgem novas aplicações no uso de geotecnologias, como as técnicas de sensoriamento remoto, que utiliza imagens orbitais e de sensores aeroembarcados (MENDES et al., 2001), e os novos sensores aerofotogramétricos ADS-80, do Centro CENSIPAM (Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM). A utilização dessas imagens deve ajudar na avaliação e dimensionamento dos impactos ambientais e sociais causados por desastres naturais, tais como enchentes, secas, queimadas e desmatamentos, principalmente na Amazônia (MENDES et al., 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODO

A Cidade de Marabá, desde sua fundação, sofre anualmente com problemas das enchentes. De acordo com Raiol (2010), os eventos que alcançarem cotas acima de 10,88 m, atingirão aproximadamente 920 pessoas; se o nível do rio atingir 12,34 m, o número de desabrigados passará a ser de 11.316 pessoas. Em 1980, durante a maior enchente registrada na cidade, o nível chegou a 17,42 m, praticamente recobrando toda a região da Marabá Pioneira.

Tabela 11 - Relação do nível de cheia com o número de pessoas atingidas.

Fonte: Defesa Civil Municipal de Marabá

| NÍVEL DO RIO MÁXIMO DA CHEIA (EM METROS) | NÚMERO DE PESSOAS ATINGIDAS |
|---|------------------------------------|
| 10,88 | 920 |
| 11,88 | 5.990 |
| 12,34 | 11.316 |

Devido à recorrência a cada ano dos eventos das cheias e do número de pessoas atingidas, este trabalho tem como um dos objetivos agregar em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) um modelo hidrológico que permita, utilizando os níveis dos rios a montantes, tanto na régua que mede o nível do Rio Tocantins, na cidade de Carolina-MA, como na régua do Rio Araguaia, na cidade de Conceição do Araguaia-PA, conseguir estimar com 4 dias de antecedência o nível do Rio Tocantins na Cidade de Marabá. E também possibilita no futuro agregar dados socioeconômicos da população que residem nesta área vulnerável. Esse procedimento visa a mitigação de possíveis danos materiais, ambientais e humanos, além de facilitar a Defesa Civil na tomada de decisão em suas ações.

O sistema de alerta de enchente determina previamente, de maneira semiautomática, as áreas a serem atingidas pela cheia, e principalmente, com a determinação das residências em situação de risco, possibilita a obtenção de informações detalhadas tanto sobre os imóveis quanto sobre as pessoas que residem neles, caso exista um cadastro de informações de cada imóvel e de seus respectivos moradores. Essa possibilidade permite ao poder público e a Defesa Civil estimar os prejuízos, planejar o atendimento aos desabrigados com fornecimento de cestas básicas e de materiais (colchões, travesseiros, lençóis entre outros), esboçar

de maneira mais precisa as prioridades para reconstrução e monitoramento da ocupação na área.

A atual pesquisa usou como área de teste a região conhecida como Núcleo Marabá Pioneira, que engloba os bairros do centro, Cabelo Seco, Santa Rosa, Varjão e Santa Maria, inserida entre as coordenadas UTM Norte 9.410.000 e 9.407.500 e UTM Este 708.306 e 705.500 a uma altitude média de 10 m em relação ao nível do mar. (Figura 20).

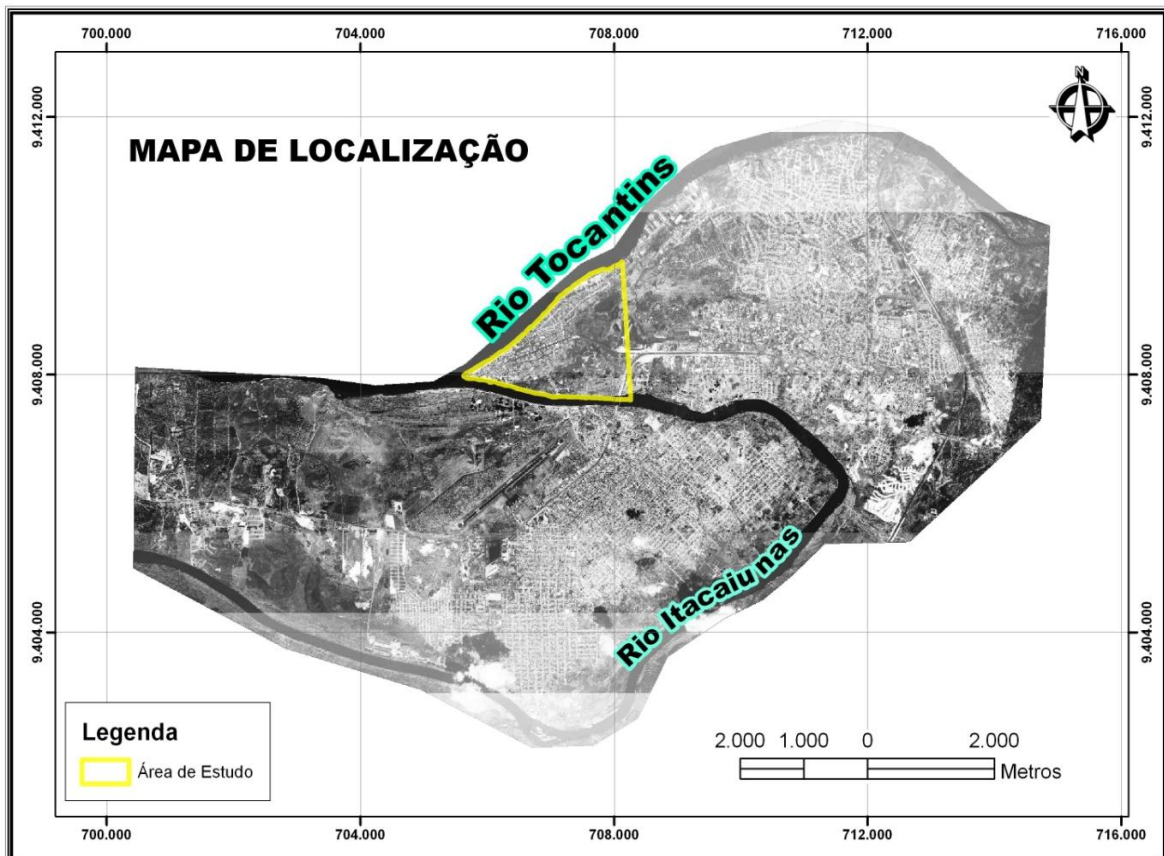


Figura 20 - Mapa de Localização da Área de Estudo.
Fonte: Imagem Worldview (19/08/2010) – Jamer Costa

3.1. SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

A Bacia Amazônica, como ocorre em outras grandes bacias, tem sua modelagem hidrológica ligada diretamente às mudanças climáticas e da cobertura vegetal e ao respectivo impacto sobre o clima da região e sobre os ciclos biogeoquímicos na bacia. Nos modelos climáticos, são fundamentais as informações hidrológicas e os dados de umidade do solo como variável interveniente (VÖRÖSMARTY et al., 1989). Vianna (2000) resumiu a evolução dos métodos de análise de cheias, desde os levantamentos iniciais das observações manuais

regulares de chuva e nível do rio, passando pelas análises computacionais das informações, estações automáticas com transmissão via satélite, emprego de banco de dados, o uso de radares meteorológicos em tempo real, até chegar aos sistemas de informações geográficas (Tabela 12).

Os métodos tradicionais para a estimativa das respostas hidrológicas que usam tabelas, cartas, e gráficos estão, atualmente, sendo substituídos por modelos computacionais, utilizando Sistemas de Informações Geográficas e, mais recentemente, estão disponíveis na rede mundial de computadores (INTERNET). Esses modelos podem ser empíricos, determinísticos ou estocásticos. Os modelos empíricos são desenvolvidos pela análise de um grande número de dados, obtendo-se relações estatísticas entre as entradas e saídas. Um exemplo é a equação universal de perda de solo. No entanto, esses modelos não são facilmente transferíveis entre regiões geográficas, precisando ser realizados ajustes e análises criteriosas (BARP, 2006; PIMENTEL et al., 2000; ROCHA, 2006; SILVA 2006; SANTOS 2008 e TUCCI, 2005).

A simulação é definida como a aplicação de uma simulação de um modelo matemático para representação do comportamento de um sistema, de maneira a produzir uma resposta, a partir de uma determinada entrada ou estímulo. A previsão refere-se a anúncios precisos ou estimativas estatísticas de ocorrência da possibilidade de um evento futuro (TUCCI, 2005).

Tabela 12- Evolução das análises de monitoramento de cheias (VIANNA, 2000)

| Período (anos) | Método de Análise de Cheia | Principais Objetivos | | | Aquisição e Processamento Técnico |
|----------------|--|----------------------|----------|-------------------------|--|
| | | Prático | | Conhecimento Científico | |
| | | Projeto | Previsão | | |
| 1750-1860 | Formulação Empírica | | | | Início das observações regulares de chuva e nível |
| 1850-1900 | Método Racional (Muvaney, 1851) | | | | Coleta sistemática de dados de chuva e vazão. |
| | Curvas envoltórias para determinação de cheias (Dickens, 1863). | | | | Contador elétrico (1860) |
| | Linhas Isócronas (Imbeaux, 1898). | | | | Venturi (1898) |
| 1900-1945 | Método de armazenamento em canais (Fantoli, 1904; Puppini, 1923). | | | | Utilização de computadores com leitores de cartão (1900). Aplicações de cálculo diferencial. Aplicação de métodos estatísticos. Primeira geração de Computadores digitais (1943). |
| | Análise de frequência (Füller, 1913; Foster, 1924; Hazen, 1930). | | | | |
| | Hidrograma unitário (Sherman, 1932). | | | | |
| | Precipitação máxima provável (NWS, 1937). | | | | |
| | Teoria dos valores extremos (Gumbel, 1941). | | | | |
| 1945-1970 | Modelos conceituais (Nash, 1957; Dooge, 1959). | | | | Modelos análogos para propagação de cheias (1948). |
| | Modelo de Stanford (Linsley – Crawford, 1960). | | | | Segunda Geração de computadores digitais (1949). Aplicações de análise de sistemas (1956). |
| | Análise regional de cheias (Dalrymple, 1960) | | | | Transmissão de dados a longa distância – telefone e rádio (1958). Aplicações de sensoriamento remoto início da década de 60. Sistemas de alerta de cheias através de estações de chuva e de nível (1960). |
| | Onda cinemática (Wooding, 1960). | | | | |
| | Modelo de escoamento comparado com resultados experimentais (Kibler, Woolhiser, 1970). | | | | |
| 1970- ... | Análise de séries temporais e previsões de tempo (Box, Jenkins, 1970) | | | | Sistema de transmissão de dados via satélite (1972) |
| | Sistema linear com restrições (Natale, Todini, 1973). | | | | Radar meteorológico e previsão hidrológica em tempo real (1975) |
| | Comparação entre modelos hidrológicos (WMO, 1975). | | | | Bancos de dados hidrológicos (1979). Métodos ultra-sônicos e eletromagnéticos de medição de vazão (início da década de 70). |
| | Relatório dos estudos de cheias (UK, NERC, 1975) | | | | |
| | Sistema hidrológico europeu (Beven et al., 1980). | | | | Microcomputadores e computadores pessoais para processamento de dados (início da década de 80). |
| | Hidrograma unitário geomorfológico (Rodríguez-Iturbe, Valdas, 1979). | | | | Sistemas de radares e satélites para previsões de curto prazo (1980). Sistemas de informações geográficas em modelos hidrológicos distribuídos (1980). |

Segundo Tucci (1998), as fases de simulação são definidas como (Figura 21):



Figura 21 - Fases da Simulação (adaptado de TUCCI, 2005)

A) Fase de ajuste ou calibração é a fase da simulação em que os parâmetros devem ser identificados e avaliados. Essa fase pode ser realizada de 3 maneiras:

Por Estimativa: é utilizada quando não se tem dados sobre as variáveis do sistema, os valores dos parâmetros são estimados e, normalmente, em intervalos de variação, com base nas informações extraídas das características físicas do sistema.

Por Tentativa e Erro: é utilizada a partir dos valores das variáveis de entrada e de saída; por tentativa se ajustam os valores dos parâmetros, de maneira que os valores calculados se aproximem ao máximo dos valores observados.

Por Otimização: é usada com base nos dados aplicados pelo processo de tentativa, em que uma função tem como objetivo a otimização através de processos matemáticos.

Por Amostragem: este é o método que utiliza os valores dos parâmetros que são obtidos de medições específicas no sistema.

B) Fase de Verificação e Validação: é a etapa que utiliza o modelo já calibrado, com dados diferentes daqueles usados no ajuste. A verificação tem o objetivo de avaliar se as especificações que foram planejadas realmente foram implementadas e assegurar a precisão do projeto. Ou seja, se os requisitos, funcionalidades e desempenho documentados foram incorporados. Já a validação tem o objetivo de avaliar se o produto final (sistema de alerta) atende as expectativas do que foi planejado e se estão implementados para atender ao usuário final.

C) Aplicação: é a fase em que o modelo é usado para representar situações onde se desconhece a saída do sistema.

Com o avanço tecnológico e a popularização dos computadores, o SIG vem sendo utilizado para várias aplicações em modelagem hidrológica: na representação de modelos digitais de elevação (MDT), na caracterização do uso do solo da bacia e, principalmente, na utilização de imagens de satélites de alta resolução que permitem identificar, de maneira precisa, a localização dos imóveis. E, mais recentemente, a aplicação direta, acoplando o modelo hidrológico num SIG. Com isso, é possível agregar em um único pacote de aplicativo a capacidade de realizar a previsão para o nível do rio, além da possibilidade de associá-las a banco de dados, e integrar com outras informações de caráter social, biótico, físico e, ao mesmo tempo, permitir a realização de análises espaciais, cruzando diferentes tipos de informações em um curto espaço de tempo. Esta união de diferentes planos de informações pode criar modelos que simulem o comportamento hidrológico e permitir de imediato analisar os possíveis danos causados nas áreas atingidas (SILVA *et al*, 2005; SANTOS *et al.*, 2007).

3.2. MATERIAIS

Durante a realização deste trabalho foram imprescindíveis e indispensáveis os seguintes equipamentos, materiais e outros elementos que possibilitaram a criação do sistema de alerta de enchente para a elaboração dos mapas das áreas afetadas:

3.2.1. BASES VETORIAIS

- **BASE CARTOGRÁFICA:** Foi utilizada a base do levantamento planialtimétrico da Cidade de Marabá, realizado pela Companhia de Habitação do Estado do Pará (COHAB-PA), escala de 1:20.000. (curvas de nível, lotes, ruas, etc.). Dados cedidos pela Prefeitura Municipal de Marabá.

3.2.2. IMAGENS DE SATÉLITES

As imagens foram utilizadas com o intuito de auxiliar no mapeamento e na caracterização da área.

- **IMAGEM WORDVIEW:** Com resolução de 0,52 metros obtida em 19/08/2010, cedida pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM);
- **IMAGEM LANDSAT-TM5:** Com resolução de 30 metros, obtida em 01/08/2009, através do site do Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE.
- **IMAGEM QUICKBIRD:** imagem multiespectral de 2,4 metros de 11/09/2005, cedida pela Universidade Federal do Pará – Campus Marabá.

3.2.3. DADOS HISTÓRICOS FLUVIOMÉTRICOS:

Os dados utilizados neste trabalho foram de níveis fluviométricos médios diários, referente às estações de Marabá, Carolina e Conceição do Araguaia, localizadas nos rio Tocantins e no seu principal afluente, o rio Araguaia. Os dados fluviométricos foram analisados, verificados e corrigidas as inconsistências dos dados oriundos da base do Banco de dados Hidrometeorológicos (HidroWEB) da Agência Nacional de Água (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

3.2.4. EQUIPAMENTOS DE POSICIONAMENTO GLOBAL POR SATÉLITE:

Os GPS foram utilizados para obter pontos de controles topográficos de precisão. Estes dados foram usados para comparar com os dados vetoriais já existentes e também utilizados para obter a correlação do nível do rio com a cota topográfica.

1. 01 GARMIN GPS48;
2. 01 GARMIN GPSmap 60CSx;
3. 02 TRIMBLE 5700 L1/L2, cedidos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA);
4. 01 GPS Geodésico South L1/L2.

3.3.MÉTODOS

O Sistema de Alerta de Enchente segue os seguintes passos (Figura 22):

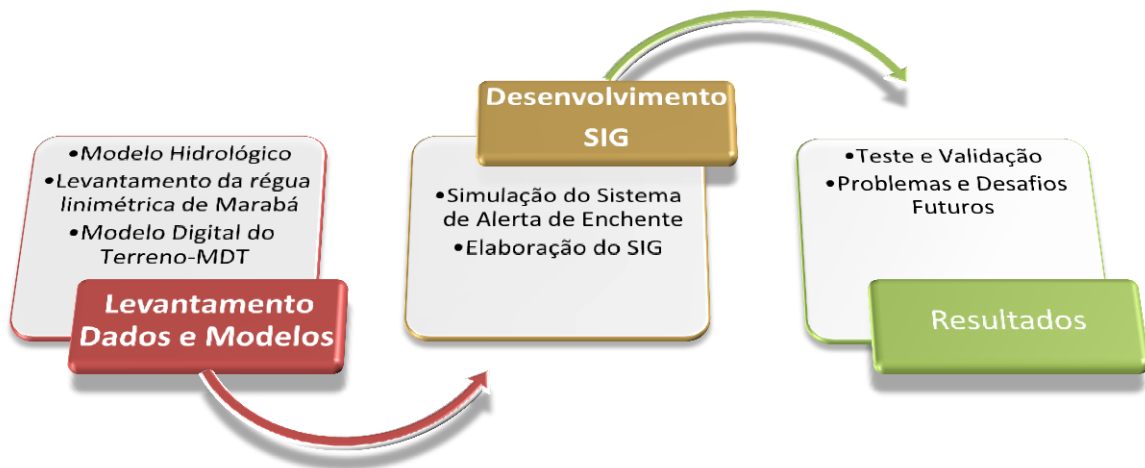


Figura 22 - Procedimentos para elaboração do Sistema de Alerta de Enchente.

O Sistema de Alerta de Enchente utiliza o modelo de previsão de 4 dias, desenvolvido nos anos 80, do século passado, pelo Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia (PHCA), em parceria com a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), e retomado até 2007 no projeto “Monitoramento e Modelagem Hidrológica dos Rios Tocantins/Araguaia”, executado pela parceria da Universidade Federal do Pará, Sistema de Proteção da Amazônia e Agência de Desenvolvimento da Amazônia (ADA). Atualmente este modelo vem sendo empregado para a emissão dos Boletins de Alerta no Sistema de Proteção da Amazônia (MINISTÉRIO DO INTERIOR et al., 1980 e SANTOS, 2008).

O Sistema de Alerta de Enchentes desenvolvido tem como base um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no caso o ArcView 3.3, customizado com uma interface de fácil acesso, que possibilite implementar um script que possa rodar o modelo hidrológico, capaz de indicar espacialmente a área prevista a ser atingida pela cheia do nível do Rio Tocantins, com 4 dias de antecedência. O produto permitirá indicar quais as edificações que serão atingidas pelas águas, possibilitando a geração de produtos automatizados, como alertas, mapas e relatórios para serem disponibilizados à Defesa Civil/Prefeitura.

O aviso de alerta pode ser realizado através do envio de **Short Message Service (SMS)**/ Serviço de Mensagens Curtas, com a finalidade de avisar os moradores da previsão, de maneira rápida e eficiente, já que o uso de telefones celulares está bastante difundido.

3.3.1. MODELO HIDROLÓGICO

Nos dias de hoje, a sociedade possui maior interesse no controle e regulação dos rios, com objetivos diversos, entre eles a geração de energia e do controle dos rios com a finalidade de evitar prejuízos com as enchentes. Em função disso, hidrólogos se baseiam no fluxo das águas superficiais escoadas dos rios, analisando as seguintes características:

- O fluxo anual dos rio e sua variabilidade a longo prazo;
- A distribuição anual do fluxo;
- Fluxo de Enchente: é o volume de água e pico da vazão escoada;
- Fluxo de Estiagem: o volume de água e o tempo de duração da estiagem.

Parte-se do pressuposto que a modelagem hidrológica é um sistema baseado no princípio da continuidade de massa, que possibilita solucionar problemas práticos de determinação de variáveis ou de previsão estado futuro, em termos do balanço de água (TUCCI, 2006b).

A região de estudo está localizada na confluência dos rios Itacaiúnas e Tocantins, mas, no entanto, apenas as variações da elevação do nível do rio Tocantins tem influência direta com as enchentes. O regime de cheias do rio Araguaia, cuja foz está localizada a poucos quilômetros de Marabá, contudo, também influenciam diretamente as enchentes na região de estudo, principalmente quando as enchentes desses rios coincidem, provocando grandes enchentes que

deixam praticamente toda a área de estudo submersa, com registro de grandes cheias nos anos de 1906, 1910, 1926, 1947, 1957, 1968, 1974, 1978, 1979 e 1980, sendo esta última a maior observada em todo o período (PMM, 2006).

O modelo hidrológico empregado foi desenvolvido no Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia (PHCA) e, ao longo dos últimos anos, vem sendo empregado e ajustado no Sistema de Proteção da Amazônia para elaboração de seus Boletins de Hidrológicos. Santos (2008) desenvolveu um modelo empírico e determinístico, baseado no método de regressão linear múltipla utilizando dados de precipitação da região. O modelo adotado é do tipo estatístico, e necessita para a sua elaboração de uma série histórica de dados diários de níveis e descargas desde 1972 até 2010.

O modelo hidrológico adotado foi o empírico e estocástico, baseado no método de regressão linear múltipla, utilizando as séries de observações fluviométricas para obter a equação que possibilita o prognóstico mais preciso e confiável. Para o pesquisador Dooge (1973) *apud* (TUCCI, 2005) propõe que o modelo estocástico é aquele que correlaciona os dados estatísticos das amostragens das séries históricas com os dados de entrada e saída das previsões.

Segundo Rennó e Soares (2000), um modelo é denominado estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem desempenho aleatório. Em alguns casos, poderá ser determinístico em função de os conceitos de probabilidade serem negligenciáveis durante a elaboração do modelo (Figura 23). Uma variável de entrada pode ser, porém, aleatória, o modelo, contudo, ainda assim, será determinístico quando cada valor de entrada produzir um único valor de saída. Para Rennó e Soares (2000), o modelo é empírico, quando são utilizadas relações obtidas de dados observacionais, em função de ser um modelo empregado para aplicação em uma região de interesses específicos. São simples e muito úteis, graças à facilidade de manipulação e emprego. Contudo, os modelos estão diretamente ligados à área de estudo. Esta modelagem, também conhecida como hidráulica do perfil da linha d'água, permite a previsão através de cálculos estatísticos para determinar os níveis d'água em cada seção do curso d'água, a partir do nível da seção de jusante (regime subcrítico) ou de montante (regime supercrítico) (SILVA, 2006).

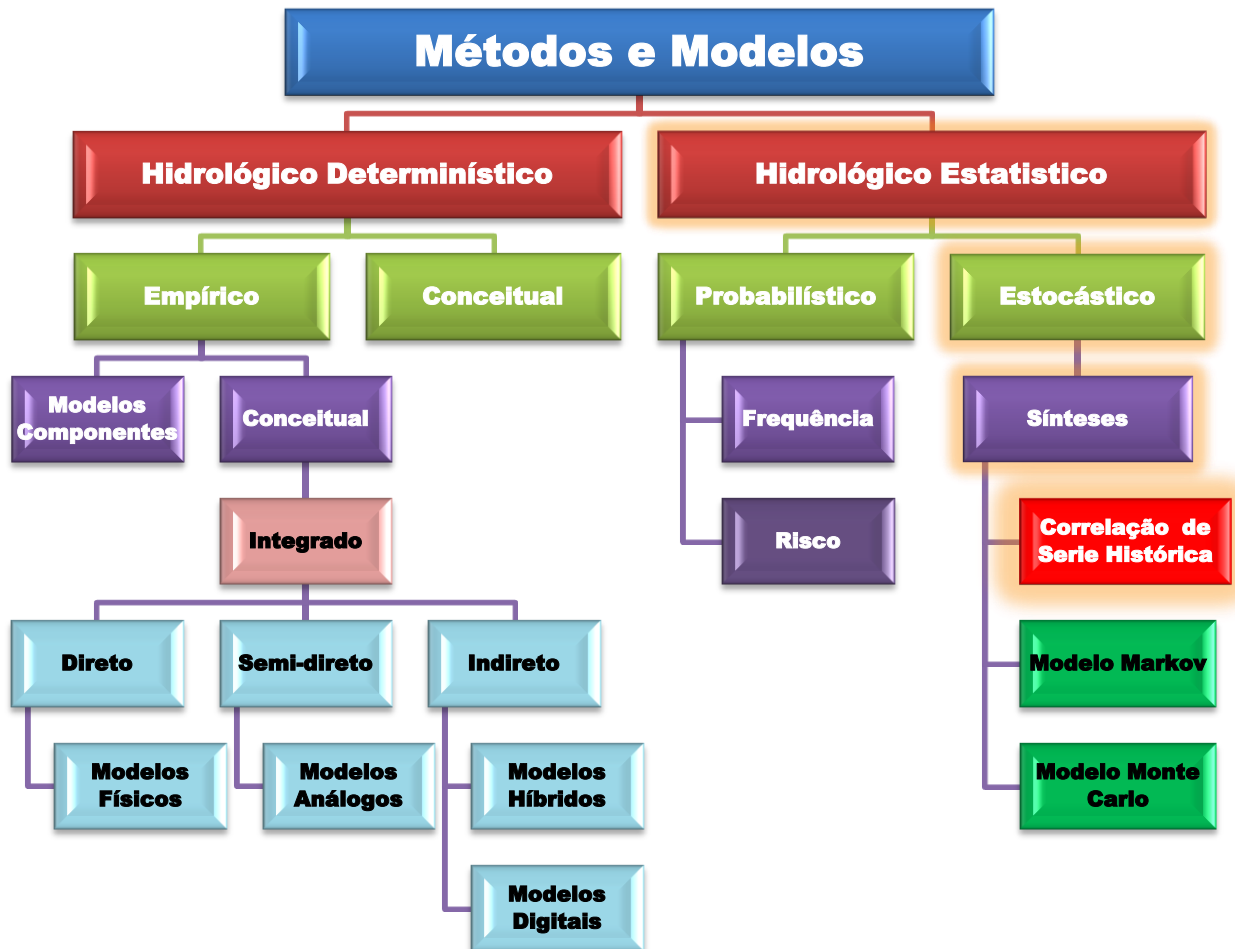


Figura 23 - Métodos e modelos hidrológicos de superfície

Fonte: Adaptado de Boonstra (1980)

O modelo, por ser simples, possui algumas limitações. Entre elas, temos:

- O primeiro é quando a onda está se movendo rapidamente, como, por exemplo, o efeito causado quando se rompe uma barragem, e o termo dependente do tempo na equação de fluxo não permanente tem efeito significativo.
- Quando os efeitos de remanso das condições de contorno são significativos.
- Ocorrência de um efeito acentuado de “loop” na relação entre vazão e elevação, situação geralmente observados em canais com pequena declividade, ou quase planos (SILVA, 2006).

Os métodos de propagação hidrológica (*lumped*) para rios desprezam os efeitos de remanso e não têm precisão para aumento rápido dos hidrogramas propagados ao longo de rios com pouca ou nenhuma declividade. Eles também não são precisos quando se trata do aumento súbito de hidrogramas em reservatórios (FREAD, 1992).

O modelo hidrológico foi elaborado para previsão de níveis fluviométricos em Marabá, considerando dados históricos das estações localizadas a montante (Carolina e Conceição do Araguaia). Com base nesses dados, foram realizados estudos estatísticos e cálculos baseados em regressão linear múltipla, que fez uma relação entre o nível fluviométrico na cidade de Marabá, nas margens do rio Tocantins, com dois pontos localizados a montante, nas cidades de Carolina-Ma e Conceição do Araguaia, no estado do Pará, respectivamente, localizadas às margens dos rios Tocantins e Araguaia.

Foram realizados estudos com o objetivo de calcular o tempo de percurso (defasagem), que é o tempo necessário para que uma **partícula de água ou de onda** percorra o trajeto entre o ponto a montante até o ponto observado, localizado a jusante, num canal aberto (TUCCI, 2005).

Os modelos de prognósticos, utilizando apenas os níveis ou vazão, são os modelos mais simples que são desenvolvidos, e que podem operar satisfatoriamente para grandes bacias. Estão baseados nas correlações lineares entre os níveis ou vazões do lugar do prognóstico (B) e do outro lugar ou de outros lugares localizados a montante do mesmo (A) e/ou (C)(Figura 25) (TUCCI, 2005).

Para definição das equações para a previsão de 4 dias de antecedência, foi estabelecida as leituras linimétricas diárias das estações de Carolina, Conceição do Araguaia e Marabá (Tabela 13) e também estão contidas as coordenadas geográficas das estações fluviométricas utilizadas. Estas informações são complementadas pelo mapa de localização da bacia do Tocantins (Figura 24). As estações foram selecionadas considerando a continuidade, análise e consistência dos dados, assim como a distribuição das estações na bacia hidrográfica (SANTOS 2008).

Tabela 13 - Lista das estações fluviométricas utilizadas no sistema de alerta.

Fonte: Agencia Nacional de Águas (2010).

| CÓDIGO | NOME DA ESTAÇÃO | MUNICÍPIO / UF | CURSOS D'ÁGUA | LATITUDE | LONGITUDE |
|----------|-----------------|---------------------|---------------|---------------|--------------|
| 23300000 | Carolina | Carolina - MA | Rio Tocantins | 07° 20' 01" S | 47° 28' 53"W |
| 27500000 | Conc. Araguaia | Conc. Araguaia - PA | Rio Araguaia | 08° 06' 10" S | 49° 15' 09"W |
| 29050000 | Marabá | Marabá - PA | Rio Tocantins | 05° 20' 12" S | 49° 07' 28"W |

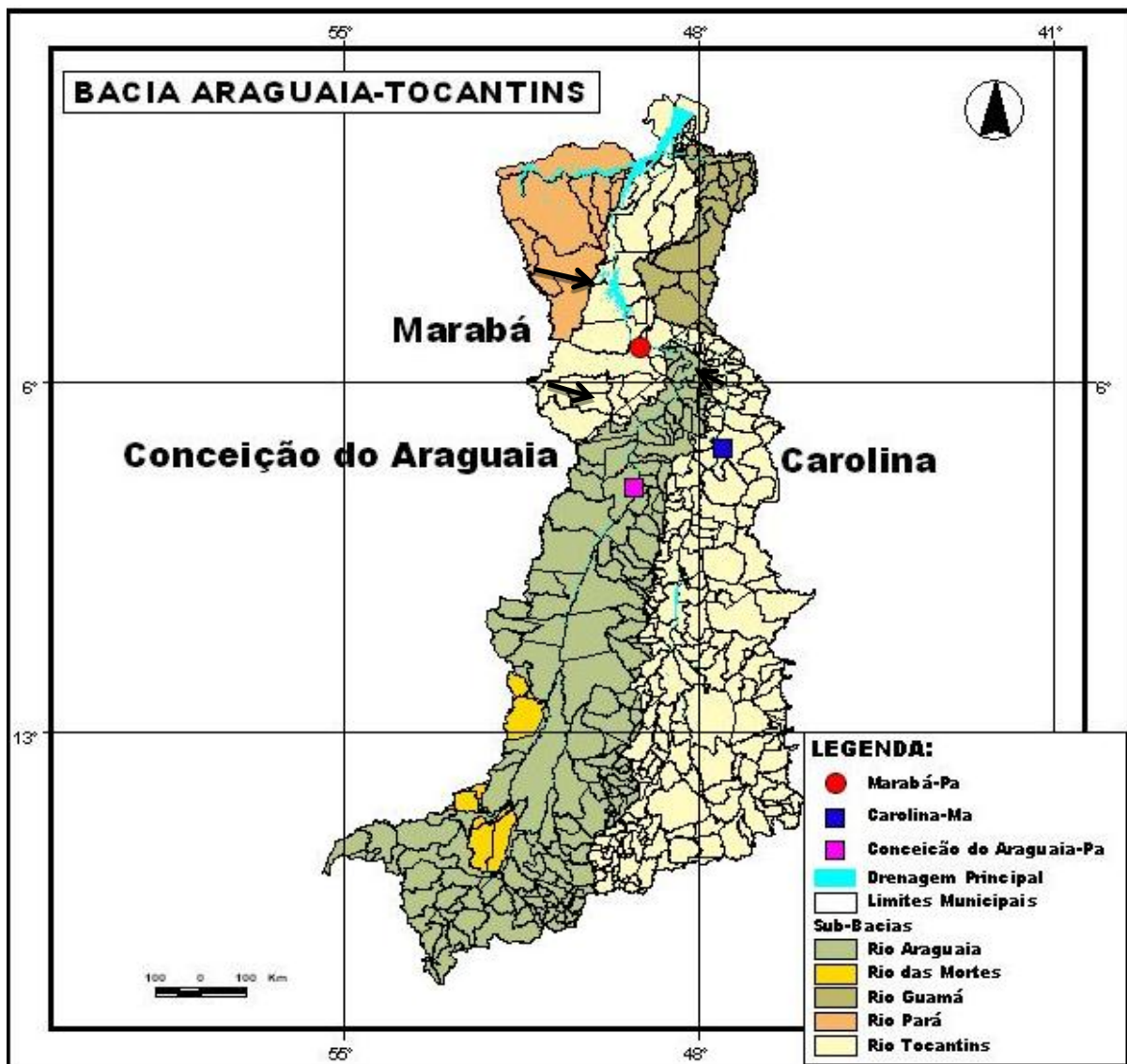


Figura 24 - Mapa de localização das réguas de Marabá, Conceição do Araguaia e Carolina.

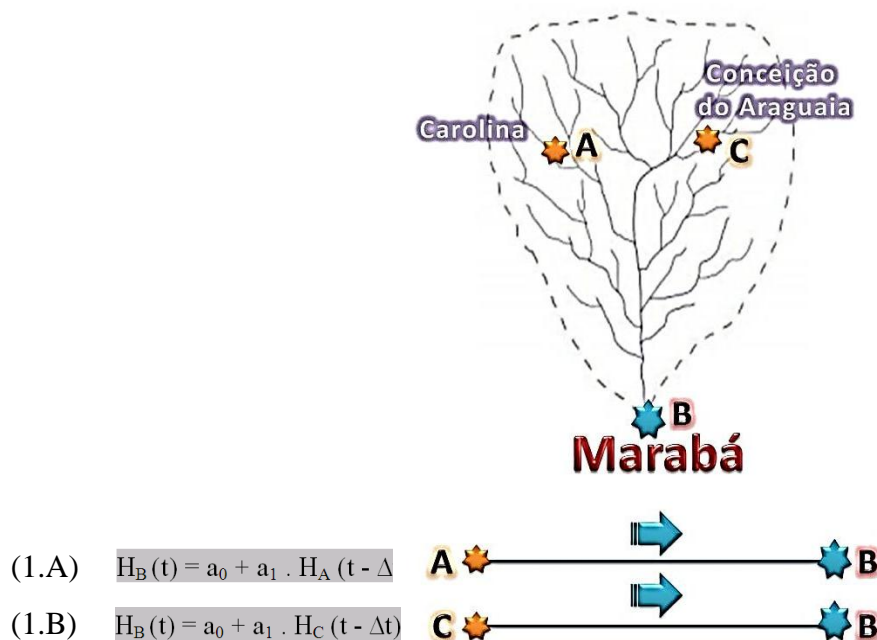


Figura 25 – Esboço de deslocamento em canal aberto na sub-bacia Carolina/Conceição do Araguaia/Marabá, utilizado para a criação do sistema de alerta para a cidade de Marabá (B).

As relações para as duas rêsguas a montante de Marabá, localizadas em Carolina e Conceição do Araguaia, são respectivamente:

$$H_B(t) = a_0 + a_1 \cdot H_A(t - \Delta t) \quad (1.A)$$

$$H_B(t) = a_0 + a_1 \cdot H_C(t - \Delta t) \quad (1.B)$$

Analisando a relação entre **Marabá** e **Carolina**, temos:

$H_B(t)$ na Equação 1.A é o nível/vazão fluviométrico na estação B (Marabá) no tempo (t);

$H_A(t - \Delta t)$ na Equação 1.A é o nível/vazão fluviométrico na estação A (em Carolina-Ma a montante de B, no Rio Tocantins) no tempo (t-Δt), sendo Δt o tempo necessário para que a água se movimente de A a B;

a_0, a_1, \dots, a_n são as constantes determinadas utilizando o método de ajuste dos mínimos quadrados.

Analisando a relação entre **Marabá** e **Conceição do Araguaia**, temos:

$H_B(t)$ na Equação 1.B é o nível/vazão fluviométrico na estação B (Marabá) no tempo (t);

$H_C(t - \Delta t)$ na Equação 1.B é o nível/vazão fluviométrico na estação C (em Conceição do Araguaia-Pa a montante de B, no Rio Araguaia) no tempo $(t - \Delta t)$, sendo Δt o tempo necessário para que a água se movimente de C à B;

a_0, a_1, \dots, a_n são as constantes determinadas utilizando o método de ajuste dos mínimos quadrados.

Ao aplicar o método de regressão linear múltipla, considerando um posto qualquer como variável dependente (em nosso caso, a área de estudo na cidade de Marabá) e outros a montante, como variáveis independentes (as régua de Carolina e Conceição do Araguaia), para os pontos $\{(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, \dots, n\}$, pode-se aplicar a seguinte equação linear.

$$z = a + bx + cy \quad (2)$$

Onde: z é a variável dependente e x e y são os outros postos a montante (independentes).

Pelo método dos mínimos quadrados, os coeficientes de regressão a , b e c podem ser encontrados resolvendo as equações (4), (5) e (6) a seguir.

$$\left. \begin{aligned} \sum z_i &= a_n + b \sum x_i + c \sum y_i \\ \sum x_i z_i &= a \sum x_i + b \sum x_i^2 + c \sum x_i y_i \\ \sum y_i z_i &= a \sum y_i + b \sum x_i y_i + c \sum y_i^2 \end{aligned} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$c = \frac{A - B}{\left[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \right] \left[n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 \right] - \left[n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i) \right]^2} \quad (3)$$

Onde:

$$A = \left[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \right] \left[n \sum y_i z_i - (\sum y_i)(\sum z_i) \right] \quad (4)$$

$$B = \left[n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i) \right] \left[n \sum x_i z_i - (\sum x_i)(\sum z_i) \right] \quad (5)$$

$$b = \frac{[n \sum x_i z_i - (\sum x_i)(\sum z_i)] - c [n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)]}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{n} [(\sum z_i) - (c \sum y_i) - (b \sum x_i)] \quad (7)$$

O coeficiente de determinação ou variância (R^2) é calculado através da equação (8). O seu resultado compara valores de \mathbf{z} estimados e os observados (reais) e seus valores variam entre 0 e 1. Para valores iguais a 1, existirá uma correlação perfeita, mostrando que o modelo está respondendo bem pois os valores de \mathbf{z} estimados e os valores reais são muito próximos. O valor de r , que é o coeficiente de correlação, é a raiz quadrada da variância (SANTOS, 2008).

$$R^2 = \frac{a \sum z_i + b \sum x_i z_i + c \sum y_i z_i - \frac{1}{n} (\sum z_i)^2}{(\sum z_i^2) - \frac{(\sum z_i)^2}{n}} \quad (8)$$

A determinação de Δ (defasagem em dias) foi determinada por métodos estatísticos, que são modelos de prognósticos de níveis mais simples, e que respondem satisfatoriamente em bacias de grandes dimensões, como a do Araguaia-Tocantins, e estão baseadas em correlações lineares. Para realizar o cálculo foi utilizado o programa de planilha eletrônica “MS-EXCEL” – Função PROJ.LIN e Gráficos (para Linha de Tendência), para determinar o valor de Δ , com base no coeficiente de correlação r da correlação linear simples, para os postos Marabá X Carolina e Marabá X Conceição do Araguaia, variando-se o Δ em (t-1), (t-2) ... (t-n) dias. Na Figura 26, onde está indicada a correlação entre os valores registrados dos níveis do rio em Marabá e Carolina no Maranhão, é de notar que a maior correlação observada foi aquela que possui um valor que mais se aproximou de 1, é o de T-6 (defasagem de 6 dias), apresentando o valor do coeficiente de correlação $r = 0.934199$. Na correlação de Conceição do Araguaia e Marabá, o T-0 é indicado como o valor de maior correlação, observando que a melhor correlação foi encontrada com a defasagem de 1 dia, com coeficiente $r = 0,974619$. No entanto, os valores observados até o T-11 apresentam maiores correlações do que em relação à estação de Carolina (Figura 27).

| | |
|------|----------|
| T-0 | 0,901388 |
| T-1 | 0,911793 |
| T-2 | 0,920507 |
| T-3 | 0,927097 |
| T-4 | 0,931403 |
| T-5 | 0,933628 |
| T-6 | 0,934199 |
| T-7 | 0,933521 |
| T-8 | 0,931891 |
| T-9 | 0,929587 |
| T-10 | 0,926865 |
| T-11 | 0,923951 |
| T-12 | 0,920994 |

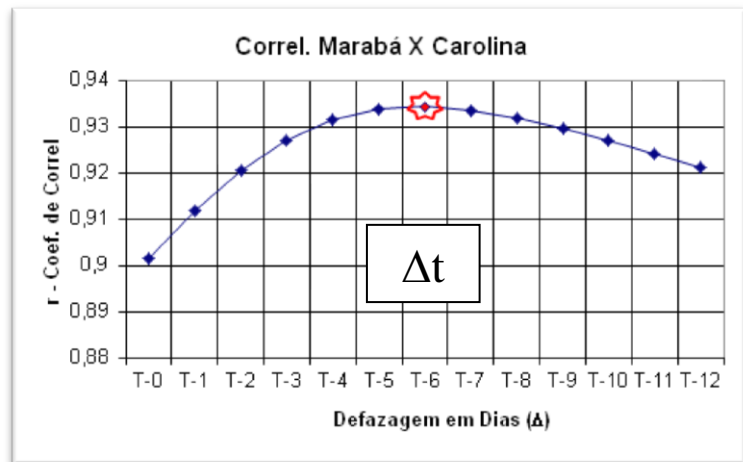


Figura 26 - Correlação linear simples entre as medidas observadas em Marabá e Carolina.

| | |
|------|----------|
| T-0 | 0,974619 |
| T-1 | 0,973239 |
| T-2 | 0,971387 |
| T-3 | 0,969072 |
| T-4 | 0,966299 |
| T-5 | 0,963075 |
| T-6 | 0,959418 |
| T-7 | 0,955361 |
| T-8 | 0,950945 |
| T-9 | 0,946200 |
| T-10 | 0,941158 |
| T-11 | 0,935843 |
| T-12 | 0,930283 |

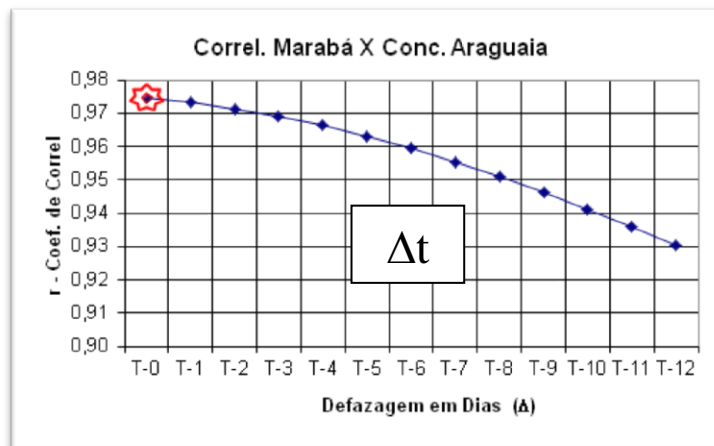


Figura 27 - Correlação linear simples entre as medidas observadas em Marabá e Conceição do Araguaia.

Com base no hidrograma do rio Tocantins em Marabá, é possível verificar que as cheias estão concentradas no período de fevereiro a maio, justamente no inverno amazônico, e o período de maior estiagem é compreendido entre os meses de agosto e novembro (Gráfico 5).

O modelo foi desenvolvido para ser empregado no início do inverno amazônico, mais precisamente no início da elevação do nível do rio em Marabá, em meados de novembro. O modelo de previsão é do tipo cota-cota e possibilita estimar os níveis a serem alcançados em Marabá. Este modelo de previsão consiste na utilização de uma curva modelada a partir da correlação linear simples, com base nas informações observadas nas réguas em Carolina e Conceição do Araguaia. Os

dados fluviométricos foram compilados do Banco de dados Hidrometeorológicos (Hidroweb) da Agência Nacional de Água (ANA). Contudo, os dados disponibilizados apresentam problemas com relação às medidas fluviométricas e se faz necessária uma avaliação com o intuito de averiguar a sua consistência e, quando possível, corrigir possíveis falhas (SANTOS, 2008).

Na estação fluviométrica de Marabá, localizada às margens do rio Tocantins, na área do Exército Brasileiro, com coordenadas na latitude $05^{\circ} 21' 12.45061''$ S e longitude $49^{\circ} 08' 39.02601''$ W (Fotografia 8), segundo Santos (2008), a bacia abrange uma área de drenagem de 690.920 km^2 , a amplitude fluviométrica multianual registrou, em março de 1980, o nível máximo de 17,41 m e, em setembro de 1996, o nível mínimo de 0,10 m (Gráfico 6). Quanto aos períodos mais severos de enchentes e estiagem, estas ocorrem geralmente nos trimestres de fevereiro a abril, e setembro a novembro, respectivamente.

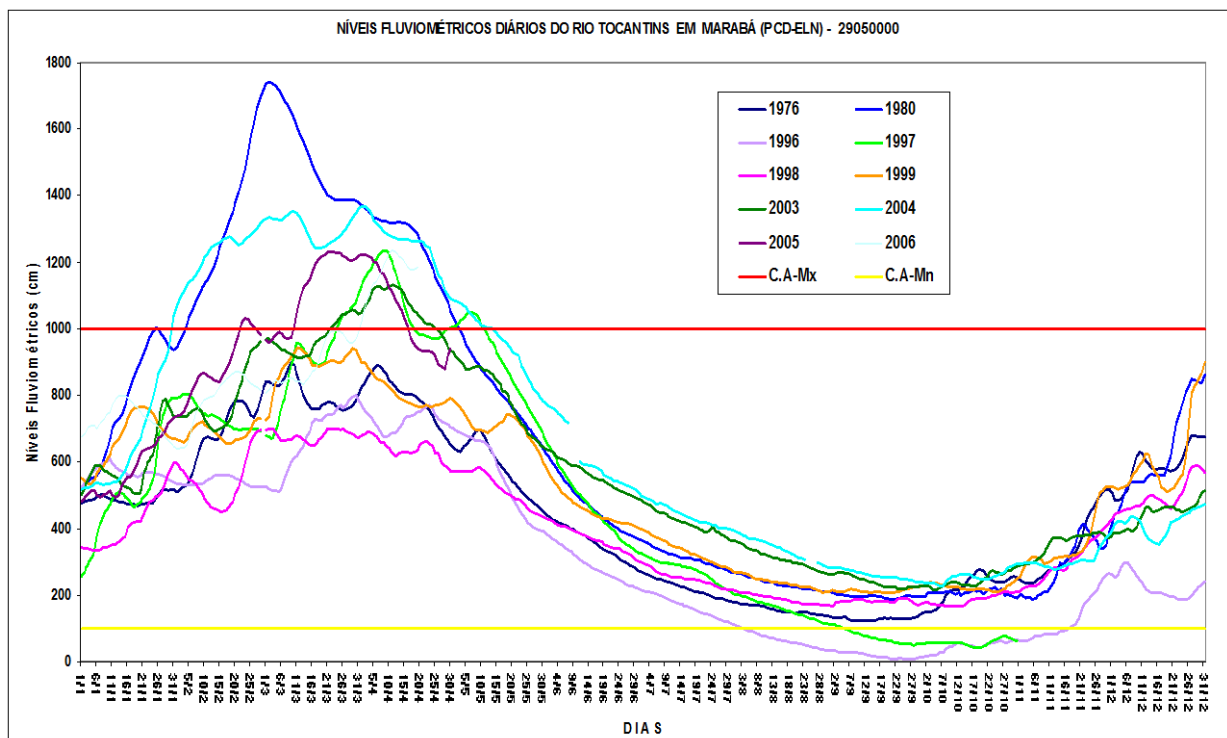


Gráfico 5 - Níveis fluviométricos diários do rio Tocantins em Marabá.
Fonte: Santos (2008).



Fotografia 5 - Conjuntos de réguas utilizadas para medir as mudanças do nível do rio Tocantins em Marabá-Pa.
(Fonte: Jamer Costa)

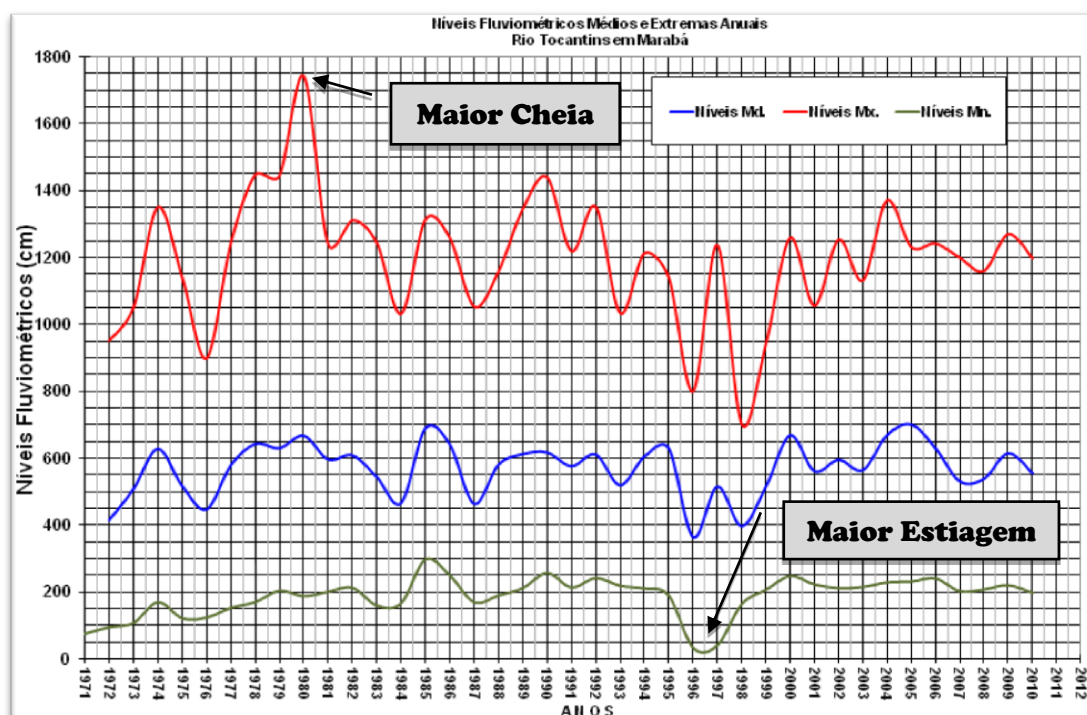


Gráfico 6 - Fluviograma Anual do Rio Tocantins no Posto Fluviométrico de MARABÁ - 29050000. Fonte: Santos (2008).

No Gráfico 7, são plotados para o ano de 2008 as observações do nível do rio Tocantins na Cidade de Marabá em relação aos valores de máximas, mínimas e dos valores médios acrescidos do desvio padrão, positivamente e negativamente, obtidos da série histórica. Dessa forma, é possível verificar se os valores observados no período de cheias e de estiagem estão dentro do padrão de normalidade. Se os valores estiverem fora do padrão, trata-se de uma anomalia que vem a ser categorizada como um evento extremo.

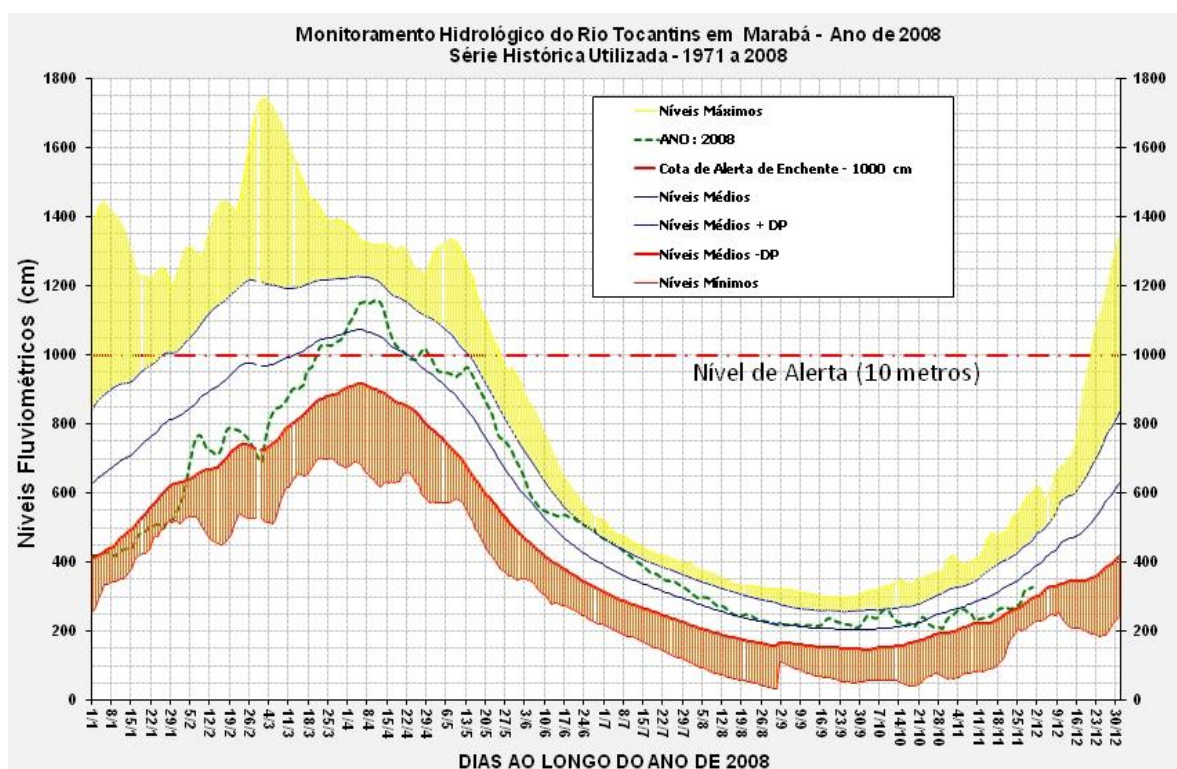


Gráfico 7 - Monitoramento Hidrológico do ano 2008 (até 15/07/2009) do Rio Tocantins em Marabá - PCD-ELN (PARÁ) – 29050000 - Série Histórica Utilizada – 1971 a 2008.
Fonte: Modificado de Santos (2008).

3.3.1.1. MODELO DE PREVISÃO PARA MARABÁ

O sistema de alerta utiliza o modelo estatístico resultante para previsão de níveis fluviométricos na Bacia do Rio Tocantins, em Marabá. Foi selecionada uma previsão para quatro dias, calibrada como primeira aproximação, de acordo com a análise de correlações máximas. O modelo foi desenvolvido através do método estatístico de correlações simples e múltiplas, considerando o Posto Fluviométrico de Marabá para previsão (SANTOS, 2008).

As estações localizadas a montante foram usadas como dados iniciais para a previsão e, segundo este método (Figura 28), o modelo que melhor apresentou correlação foi o Modelo denominado Mod-4b (SANTOS, 2008).

Mod-4b :

$$H_{\text{Marabá}}(t) = -131.1615 + 0,586811 * H_{\text{Caro}}(t-4) + 0,9941041 * H_{\text{C_Ara}}(t-4)$$

$r = 0,994439$ $Syx = 33,93 \text{ cm}$

Figura 28 - Modelo hidrológico Mod-4b adotado para o Sistema de Alerta de Enchente para a cidade de Marabá.

- Onde:
- $H_{\text{Marabá}}(t)$ – é o nível fluviométrico previsto em Marabá no dia (t) (9)
 - $H_{\text{Carolina}}(t-4)$ – é o nível fluviométrico em Carolina no dia (t-4) (10)
 - $H_{\text{C_Ara}}(t-4)$ – é o nível fluviométrico em Conc. do Araguaia no dia (t-4) (11)

O erro padrão é uma medida da precisão da média das amostras calculada. O erro padrão obtém-se dividindo o desvio padrão pela raiz quadrada do tamanho da amostra. O erro padrão para estimativa em Marabá, na regressão (Syx) para o modelo Mod.-4b, para quatro dias de antecedência, foi de 33,93 cm (SANTOS, 2008).

3.3.2. LEVANTAMENTO DE CAMPO

Devido principalmente à ausência da relação entre o nível do rio medido nas observações fluviométricas e sua correlação com a topografia da área de estudo, foi necessária a realização de um levantamento de campo na cidade de Marabá.

Esse levantamento foi executado no período de 16/06/2009 a 17/06/2009, e durante esse período, foram coletadas informações sobre a enchente ocorrida no ano de 2009, bem como a coleta de pontos de amostragens com GPS geodésico em vários pontos espalhados pela cidade, com objetivo de averiguar as informações topográficas da base cartográficas adotadas.

- **LEVANTAMENTO POR SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS)**

Com objetivo de melhorar a precisão dos dados levantados e obter um rigor máximo (precisão a nível centimétrico), foi necessária a instalação de uma base de referência (fase), além da estação do INCRA existente em Marabá, para que fosse realmente possível realizarmos correção diferencial, sendo posicionado um GPS TRIMBLE 5700 L1/L2 em um marco geodésico conhecido denominado MG6S (A5R), localizado no 52º BIS – Batalhão de Infantaria de Selva – Seção Fluvial (Fotografia 6).

Justamente no primeiro dia de trabalho de campo, a estação do INCRA não funcionou e foi vital ter instalado uma estação base no marco conhecido, e só assim foi possível o pós-processamento dos dados levantados. A estação base coletou registros desde o início ao fim do levantamento, servindo como referencial para a correção diferencial (pós-processamento) dos dados recolhidos pelo GPS móvel.

Os dados levantados foram corrigidos através do serviço de pós-processamento de dados, disponibilizado no site do IBGE, denominado de **Posicionamento por Ponto Preciso – PPP** (Figura 29).



Fotografia 6 - Marco geodésico MG85 (ASR) utilizado com estação base para os levantamentos de campo.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

ESTA OPÇÃO NÃO É OBRIGATÓRIA.
Por favor, caso tenha feito o levantamento em uma estação do Sistema Geodésico Brasileiro, preencha o campo abaixo.

Coloque o código da estação que está estampado na chapa do marco: (por exemplo: 1120R)

Selecione um arquivo RINEX: Nenhum a...cionado

Selecione o Modo de Processamento:
 Estático Cinemático

OS VALORES SELECIONADOS AQUI SERÃO ADOTADOS PARA TODOS RINEX QUE ESTEJAM COMPRIMIDOS EM UM ÚNICO ARQUIVO.

Tipo de Antena:

Altura da antena (m): O valor para altura da antena somente será adotado se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido, para onde será enviada a resposta.
O e-mail não poderá conter espaços no nome:

Nota: O processamento iniciará após a transferência do arquivo, o que pode demorar alguns minutos.
Caso o resultado não seja enviado em 24 horas, por favor reprocessse.

[Página Inicial](#) | [A Instituição](#) | [Locais de Atendimento](#) | [Estatísticas do Site](#) | [Editais e Licitações](#)

Figura 29 - Interface do aplicativo web Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE)

Foram obtidos 19 pontos de amostragem com o intuito de averiguar possíveis discrepâncias existentes com a base topográfica da base da COHAB/Prefeitura Municipal de Marabá, principalmente nas áreas onde houve intervenção antrópica recente. Os resultados do levantamento são apresentados nas Tabela 14 e Tabela 15, dados levantados nos dias 16/06/2009 e 17/06/2009.

Tabela 14 - Coordenadas geodésicas ajustadas dos pontos de amostragem.

| Ponto | Longitude | Latitude | Elipsoidal | LatitudeT | LongitudeT | Erro N | Erro L | erro alt | Ortométrica |
|--------|--------------|--------------|------------|-----------------|------------------|--------|--------|----------|-------------|
| BASE | -49,12268644 | -5,338427292 | 59,418 | 5°20'18,33825"S | 49°07'21,67117"O | 0 | 0 | 0 | 84,27 |
| Marabá | -49,12229767 | -5,362378667 | 79,82 | 5°21'44,56320"S | 49°07'20,27160"O | 0 | 0 | 0 | 79,82 |
| P1 | -49,14417389 | -5,353458503 | 52,869 | 5°21'12,45061"S | 49°08'39,02601"O | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 77,72 |
| P2 | -49,1431631 | -5,353387631 | 58,367 | 5°21'12,19547"S | 49°08'35,38717"O | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 83,22 |
| P3 | -49,14083878 | -5,352539444 | 58,683 | 5°21'09,14200"S | 49°08'27,01962"O | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 83,54 |
| P4 | -49,14051641 | -5,354044497 | 59,669 | 5°21'14,56019"S | 49°08'25,85907"O | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 84,52 |
| P5 | -49,1412044 | -5,351652708 | 58,1 | 5°21'05,94975"S | 49°08'28,33585"O | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 82,95 |
| P6 | -49,13820036 | -5,349633325 | 58,402 | 5°20'58,67997"S | 49°08'17,52129"O | 0,003 | 0,003 | 0,008 | 83,26 |
| P7 | -49,13737196 | -5,351868822 | 59,632 | 5°21'06,72776"S | 49°08'14,53906"O | 0,002 | 0,003 | 0,006 | 84,49 |
| P8 | -49,13716219 | -5,353701028 | 58,815 | 5°21'13,32370"S | 49°08'13,78389"O | 0,002 | 0,003 | 0,006 | 83,67 |
| P9 | -49,13614573 | -5,347792828 | 58,504 | 5°20'52,05418"S | 49°08'10,12463"O | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 83,36 |
| P10 | -49,13479992 | -5,350340442 | 59,863 | 5°21'01,22559"S | 49°08'05,27971"O | 0,003 | 0,004 | 0,007 | 84,72 |
| P11 | -49,13260357 | -5,353923158 | 57,749 | 5°21'14,12337"S | 49°07'57,37284"O | 0,004 | 0,005 | 0,009 | 82,60 |
| P12 | -49,13168077 | -5,351133842 | 57,409 | 5°21'04,08183"S | 49°07'54,05077"O | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 82,26 |
| P13 | -49,13130035 | -5,356129319 | 52,84 | 5°21'22,06555"S | 49°07'52,68127"O | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 77,69 |
| P14 | -49,13081993 | -5,348624958 | 59,222 | 5°20'55,04985"S | 49°07'50,95176"O | 0,004 | 0,005 | 0,014 | 84,08 |
| P15 | -49,13123116 | -5,347333522 | 58,941 | 5°20'50,40068"S | 49°07'52,43217"O | 0,003 | 0,003 | 0,007 | 83,80 |
| P16 | -49,1328744 | -5,344635139 | 57,121 | 5°20'40,68650"S | 49°07'58,34785"O | 0,003 | 0,004 | 0,01 | 81,98 |
| P17 | -49,13321134 | -5,348242958 | 61,191 | 5°20'53,67465"S | 49°07'59,56083"O | 0,006 | 0,006 | 0,012 | 86,05 |

Tabela 15 - Coordenadas grid ajustadas dos pontos de amostragem - UTM.

| Ponto | Norte | Erro N | Leste | Erro L | Elipsoidal | Ortométrica |
|--------|--------------|--------|-------------|--------|------------|-------------|
| BASE | 9409609,093m | 0,000m | 708034,762m | 0,000m | 59,418 | 84,27 |
| MARABA | 9406959,977m | 0,000m | 708069,761m | 0,000m | 79,82 | 79,82 |
| P1 | 9407953,907m | 0,002m | 705647,779m | 0,003m | 52,869 | 77,72 |
| P2 | 9407961,407m | 0,003m | 705759,849m | 0,004m | 58,367 | 83,22 |
| P3 | 9408054,434m | 0,002m | 706017,785m | 0,003m | 58,683 | 83,54 |
| P4 | 9407887,871m | 0,002m | 706053,017m | 0,002m | 59,669 | 84,52 |
| P5 | 9408152,627m | 0,002m | 705977,553m | 0,002m | 58,1 | 82,95 |
| P6 | 9408374,957m | 0,003m | 706311,231m | 0,003m | 58,402 | 83,26 |
| P7 | 9408127,438m | 0,002m | 706402,310m | 0,003m | 59,632 | 84,49 |
| P8 | 9407924,731m | 0,002m | 706424,949m | 0,003m | 58,815 | 83,67 |
| P9 | 9408577,821m | 0,002m | 706539,607m | 0,003m | 58,504 | 83,36 |
| P10 | 9408295,608m | 0,003m | 706687,937m | 0,004m | 59,863 | 84,72 |
| P11 | 9407898,628m | 0,004m | 706930,202m | 0,005m | 57,749 | 82,60 |
| P12 | 9408206,809m | 0,002m | 707033,433m | 0,002m | 57,409 | 82,26 |
| P13 | 9407654,192m | 0,002m | 707073,921m | 0,002m | 52,84 | 77,69 |
| P14 | 9408483,996m | 0,004m | 707129,703m | 0,005m | 59,222 | 84,08 |
| P15 | 9408626,965m | 0,003m | 707084,552m | 0,003m | 58,941 | 83,80 |
| P16 | 9408925,954m | 0,003m | 706903,301m | 0,004m | 57,121 | 81,98 |
| P17 | 9408527,050m | 0,006m | 706864,739m | 0,006m | 61,191 | 86,05 |

3.3.2.1. LEVANTAMENTO DE CAMPO COM GPS GEODÉSICO

Ponto: Estação Base:

Coordenadas Base/Réguas dia 16/06/2009

Coordenadas geodésicas ajustadas

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|------------|
| BASE | 5°20'18,33825"S | 49°07'21,67117"O | 59,418m | 0,000m | 0,000m | 0,000m | Lat Long a |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009

Coordenadas de grid ajustadas

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| BASE | 9409609,093m | 708034,762m | 0,000m | 0,000m |



Fotografia 7 - Ponto da estação base de coletas de dados DGPS - Quartel da Marinha do Brasil

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto Régua: Régua do Rio Tocantins, cidade de Marabá (PA)**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|--------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|------------|
| MARABA | 5°21'44,56320"S | 49°07'20,27160"O | 79,820m | 0,000m | 0,000m | 0,000m | Lat Long a |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|--------|--------------|-------------|--------|--------|
| MARABA | 9406959,977m | 708069,761m | 0,000m | 0,000m |

**Fotografia 8 - Réguas de monitoramento do nível do Rio Tocantins.**

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Com base neste levantamento, chegamos à relação entre o nível do rio e a cota topográfica, relação fundamental para que o modelo esteja calibrado com a topografia local. A relação é:

$$\text{Cota Topográfica do Nível do Rio} = \text{Nível da coluna d'água do Rio} + 68,50$$

Ponto 1: Ponto no Cabelo Seco, confluência do Rio Tocantins com o Rio Itacaiúnas

Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009

Coordenadas geodésicas ajustadas

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P1 | 5°21'12,45061"s | 49°08'39,02601"O | 52,869m | 0,002m | 0,003m | 0,004m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009

Coordenadas de grid ajustadas

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P1 | 9407953,907m | 705647,779m | 0,002m | 0,003m |



Fotografia 9 - Ponto de controle 1, localizado no região do Cabelo Seco, mais precisamente na Vila Rato, situada na confluência do Rio Tocantins com o Rio Itacaiúnas.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 2: Fundo da Escola no Cabelo Seco.**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P2 | 5°21'12,19547"S | 49°08'35,38717"O | 58,367m | 0,003m | 0,004m | 0,006m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P2 | 9407961,407m | 705759,849m | 0,003m | 0,004m |

**Fotografia 10 - Ponto de controle 2, localizado atrás da escola no Cabelo Seco.**

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 3: Cruzamento de vias
Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009

Coordenadas geodésicas ajustadas

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P3 | 5°21'09,14200"S | 49°08'27,01962"O | 58,683m | 0,002m | 0,003m | 0,005m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009

Coordenadas de grid ajustadas

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P3 | 9408054,434m | 706017,785m | 0,002m | 0,003m |



Fotografia 11 - Ponto de controle 3, cruzamento de vias.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 4: Rua localizada nas margens do Rio Itacaiúnas, no barranco.**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P4 | 5°21'14,56019"S | 49°08'25,85907"O | 59,669m | 0,002m | 0,002m | 0,005m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P4 | 9407887,871m | 706053,017m | 0,002m | 0,002m |

**Fotografia 12 - Ponto de controle 4, localizado na rua às margens do Rio Itacaiúnas.**

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 5**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P5 | 5°21'05,94975"S | 49°08'28,33585"O | 58,100m | 0,002m | 0,002m | 0,005m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P5 | 9408152,627m | 705977,553m | 0,002m | 0,002m |

**Fotografia 13 - Ponto de controle 5, às margens do Rio Tocantins.**

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 6**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P6 | 5°20'58,67997"S | 49°08'17,52129"O | 58,402m | 0,003m | 0,003m | 0,008m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P6 | 9408374,957m | 706311,231m | 0,003m | 0,003m |



Fotografia 14 - Ponto de controle 6, às margens do Rio Tocantins.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 7**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P7 | 5°21'06,72776"S | 49°08'14,53906"O | 59,632m | 0,002m | 0,003m | 0,006m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P7 | 9408127,438m | 706402,310m | 0,002m | 0,003m |



Fotografia 15 - Ponto de controle 7, localizado no cruzamento de vias públicas.
Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 8**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P8 | 5°21'13,32370"S | 49°08'13,78389"O | 58,815m | 0,002m | 0,003m | 0,006m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P8 | 9407924,731m | 706424,949m | 0,002m | 0,003m |



Fotografia 16 - Ponto de controle 8, localizado no cruzamento de vias públicas.
Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 9**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P9 | 5°20'52,05418"S | 49°08'10,12463"O | 58,504m | 0,002m | 0,003m | 0,004m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P9 | 9408577,821m | 706539,607m | 0,002m | 0,003m |

**Fotografia 17 - Ponto de controle 9, às margens do Rio Tocantins.**

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 10**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P10 | 5°21'01,22559"S | 49°08'05,27971"O | 59,863m | 0,003m | 0,004m | 0,007m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P10 | 9408295,608m | 706687,937m | 0,003m | 0,004m |



Fotografia 18 - Ponto de controle 10, localizado no cruzamento de vias públicas.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 11**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P11 | 5°21'14,12337"S | 49°07'57,37284"O | 57,749m | 0,004m | 0,005m | 0,009m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P11 | 9407898,628m | 706930,202m | 0,004m | 0,005m |



Fotografia 19 - Ponto de controle 11, localizado no cruzamento de vias públicas.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 12**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P12 | 5°21'04,08183"S | 49°07'54,05077"O | 57,409m | 0,002m | 0,002m | 0,006m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P12 | 9408206,809m | 707033,433m | 0,002m | 0,002m |



Fotografia 20 - Ponto de controle 12, localizado no cruzamento de vias públicas.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 13**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P13 | 5°21'22,06555"S | 49°07'52,68127"O | 52,840m | 0,002m | 0,002m | 0,006m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P13 | 9407654,192m | 707073,921m | 0,002m | 0,002m |

**Fotografia 21 - Ponto de controle 13, às margens do Rio Itacaiúnas.**

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 14**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P14 | 5°20'55,04985"S | 49°07'50,95176"O | 59,222m | 0,004m | 0,005m | 0,014m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P14 | 9408483,996m | 707129,703m | 0,004m | 0,005m |



Fotografia 22 - Ponto de controle 14, localizado no cruzamento de vias públicas.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 15**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P15 | 5°20'50,40068"S | 49°07'52,43217"O | 58,941m | 0,003m | 0,003m | 0,007m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P15 | 9408626,965m | 707084,552m | 0,003m | 0,003m |



Fotografia 23 - Ponto de controle 15, localizado no cruzamento de vias públicas.

Fotografia: Jamer Costa (2009)

Ponto 16**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P16 | 5°20'40,68650"S | 49°07'58,34785"O | 57,121m | 0,003m | 0,004m | 0,010m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P16 | 9408925,954m | 706903,301m | 0,003m | 0,004m |



Fotografia 24 - Ponto de controle 16, às margens do Rio Itacaiúnas.

Ponto 17**Coordenadas Base/Régua dia 16/06/2009****Coordenadas geodésicas ajustadas**

| Ponto | Latitude | Longitude | Altura | Erro N | Erro O | erro alt | Fixar |
|-------|-----------------|------------------|---------|--------|--------|----------|-------|
| P17 | 5°20'53,67465"S | 49°07'59,56083"O | 61,191m | 0,006m | 0,006m | 0,012m | |

Coordenadas Base/RBMC/Pontos dia 16/06/2009**Coordenadas de grid ajustadas**

| Ponto | Dir Norte | Dir Oeste | Erro N | Erro O |
|-------|--------------|-------------|--------|--------|
| P17 | 9408527,050m | 706864,739m | 0,006m | 0,006m |



Fotografia 25 - Ponto de controle 17, localizado no cruzamento de vias públicas.
Fotografia: Jamer Costa (2009)

A cota topográfica obtida nos pontos coletados no campo, quando comparada com as cotas da base cartográfica da PMM/COHAB, mostrou uma diferença média de 0,73 metros, com um desvio padrão de 0,33 metros. No entanto, como a avaliação se deu através da proximidade dos pontos, apenas o Ponto 5 (P5) havia um ponto coincidente na sua localização, por esse motivo apresenta uma diferença menor, de apenas 0,12 metros, com a cota da base da PMM/COHAB (Figura 30 e Tabela 16).

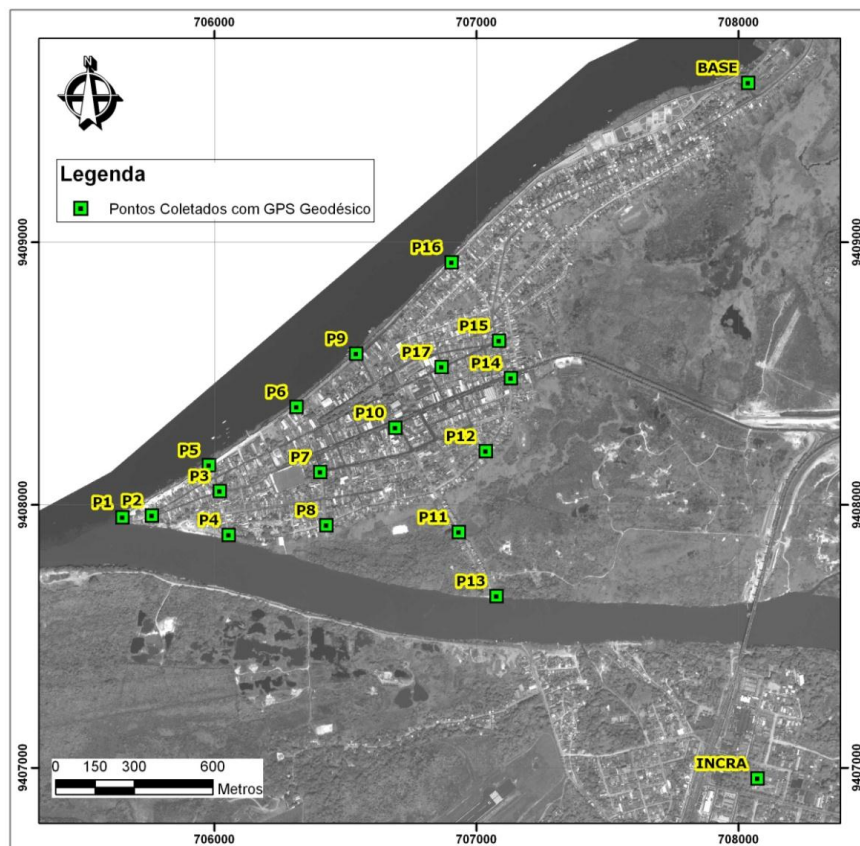


Figura 30 - Mapa de localização dos pontos geodésicos coletados.

Tabela 16- Comparação do levantamento de campo com os dados da base PMM/COHAB.

| Ponto | Longitude | Latitude | Cota Topográfica | Leste | Norte | Cota Base | Diferença |
|-------|-----------|----------|------------------|------------|--------------|-----------|-----------|
| BASE | -49,123 | -5,338 | 59,418 | 708.035,51 | 9.409.607,06 | 60,30 | 0,88 |
| P2 | -49,143 | -5,353 | 58,367 | 705.760,59 | 9.407.959,37 | 58,72 | 0,35 |
| P3 | -49,141 | -5,353 | 58,683 | 706.018,53 | 9.408.052,40 | 59,82 | 1,14 |
| P4 | -49,141 | -5,354 | 59,669 | 706.053,76 | 9.407.885,83 | 60,40 | 0,73 |
| P5 | -49,141 | -5,352 | 58,100 | 705.978,30 | 9.408.150,59 | 58,22 | 0,12 |
| P7 | -49,137 | -5,352 | 59,632 | 706.403,06 | 9.408.125,40 | 60,42 | 0,79 |
| P9 | -49,136 | -5,348 | 58,504 | 706.540,35 | 9.408.575,78 | 59,52 | 1,02 |
| P12 | -49,132 | -5,351 | 57,409 | 707.034,18 | 9.408.204,77 | 58,22 | 0,81 |
| P14 | -49,131 | -5,349 | 59,222 | 707.130,45 | 9.408.481,96 | 59,72 | 0,50 |
| P15 | -49,131 | -5,347 | 58,941 | 707.085,30 | 9.408.624,93 | 59,22 | 0,28 |
| P17 | -49,133 | -5,348 | 61,191 | 706.865,48 | 9.408.525,01 | 61,55 | 0,36 |

3.3.3. DEFINIÇÃO DO PROJETO DE SIG

É a fase em que se define a solução tecnológica com a finalidade de resolver a problemática em questão, que, neste caso, é a criação do Sistema de Alerta de Enchente. Nesta fase foi realizada a análise do problema, seguido da definição de uma solução tecnológica, da concepção do projeto do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e do seu desenvolvimento.

O projeto conceitual desenhado estabeleceu uma sequência de procedimentos com a finalidade de atingir o objetivo principal da proposta do trabalho, a Figura 31 mostra a sequência de procedimentos.

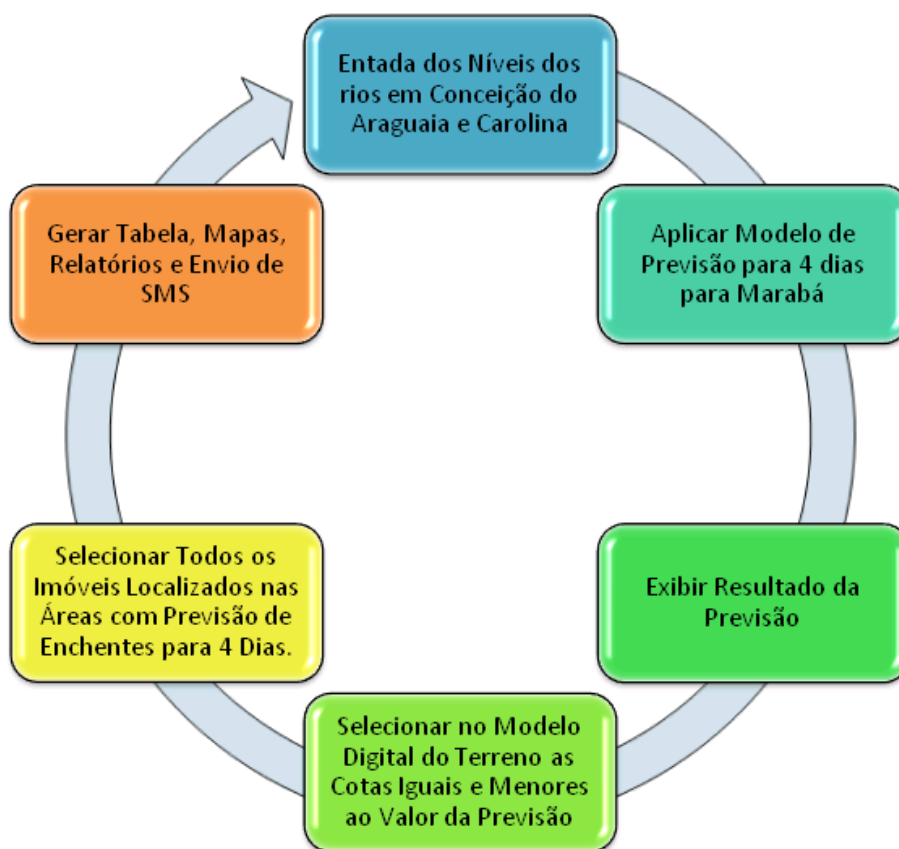


Figura 31 – Projeto Conceitual para o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

3.3.3.1. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

A solução tecnológica empregada para criação do sistema de alerta teve como base o software ArcView 3.3, um programa desenvolvido pela ESRI e que permite, entre outras funções e operacionalidade, a aplicação de scripts em linguagem *avenue*, linguagem já conhecida pelo autor e que facilitou a sua implementação. Os scripts ou extensões permitem a criação de um ambiente gráfico com janelas e rotinas que podem ser ativadas, utilizando botões na barra do menu

do programa, permitindo que operadores que não conheçam nada de programação ou de SIG possam utilizar o sistema de alerta com o mínimo de conhecimento do programa fonte (ArcView). A linguagem **Avenue** é uma linguagem de programação orientada-objeto do programa ArcView 3.3, onde os temas (shapefiles), menus, operações, entre outros, são tratados como objetos, e permitem a manipulação através de requisitos/operações realizando determinados procedimentos. Esta linguagem (**scripts**) é totalmente integrada ao ArcView 3.3 e roda em todas as plataformas disponíveis do ArcGis. A linguagem possui ferramentas de desenvolvimento para a criação de interfaces gráficas, de acesso a dados espaciais e tabelas. Essa linguagem permite a análise espacial dos dados, o acesso a informações de um banco de dados relacionais, a visualização dos resultados em tela e a geração de relatórios.

3.3.3.1.1. MODELO DIGITAL DO TERRENO

A visualização das informações espaciais em 3D cada vez mais tem mostrado sua importância nos estudos ambientais. E aplicado principalmente nos estudos relacionados a hidrologia que esta ferramenta mostra todo o seu potencial, com a geração de modelos digitais do terreno (MDT).

Um Modelo Digital do Terreno (MDT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial em uma determinada região da superfície terrestre. É usado principalmente para caracterizar os dados de relevo, informações geológicas, levantamentos batimétricos (profundidades do mar, lago ou de um rio). (FELGUEIRAS, 2000). Esses modelos Digitais do Terrenos permitem (BURROUGH, 1986):

- Geração de mapas topográficos, com a criação de curvas de níveis, representando os dados de altimetria do terreno;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens, e elaboração de perfis;
- Utilização para confecção de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

A elaboração de um Modelo Digital de Terreno é fundamental para representar a superfície de um terreno real. Esses modelos são representados por equações analíticas ou na forma de rede (grade) de pontos e informam ao usuário as características espaciais do terreno, principalmente no que diz respeito às informações de desnível, declividade (inclinação do terreno) e aspecto (direção da superfície do terreno). Para Felgueiras (2000), a elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) pode ser dividida em 3 fases: aquisição das amostras ou amostragem, geração do modelo e aplicação deste modelo.

A fase de amostragem corresponde ao levantamento de dados topográficos da área de interesse, que pode ser realizado de inúmeras formas, dependendo da escala de trabalho. A obtenção pode ser direta, com levantamento da topografia em campo, mediante equipamentos como: níveis, teodolitos, estação total, GPS geodésico, assim como por meio de equipamento de varredura a laser. É possível também a realização de levantamentos aerofotogramétricos das imagens, laser e interferometria, com imagens de radar aeroembarcados. E, finalmente, existe também a utilização de sensores orbitais (satélites). Esse levantamento compreende a aquisição de um conjunto de amostras representativas, pontos com as coordenadas e altimetria conhecidas. Geralmente, essas amostras estão representadas por curvas de isovalores e pontos tridimensionais (FELGUEIRAS, 2000). Neste trabalho, utilizou-se a base cartográfica na escala 1:20.000 existente na Prefeitura Municipal de Marabá, fruto de um convênio com a COHAB-PA (Figura 32). A segunda fase é a modelagem, responsável pela criação da superfície de representação contínua da altimetria, a partir da base cartográfica existente. Essa superfície possibilita a manipulação através de algoritmos existentes nos programas de SIG. As formas de representação mais utilizadas são os modelos de grade regular retangular, modelos de grade irregular triangular, superfície 3D e modelo com imagem em 3D (Figura 33). A terceira fase está relacionada aos procedimentos de análise executados sobre os modelos digitais, como cálculos de volumes e geração de mapas de declividades (FELGUEIRAS, 2000).

Foi elaborado um Modelo Digital do Terreno (MDT) que foi convertido para uma grade regular de 5 m X 5 m. O valor da cota altimétrica média da área de cada célula foi atribuído para a tabela de atributo do shapefile (Figura 34 e 51).

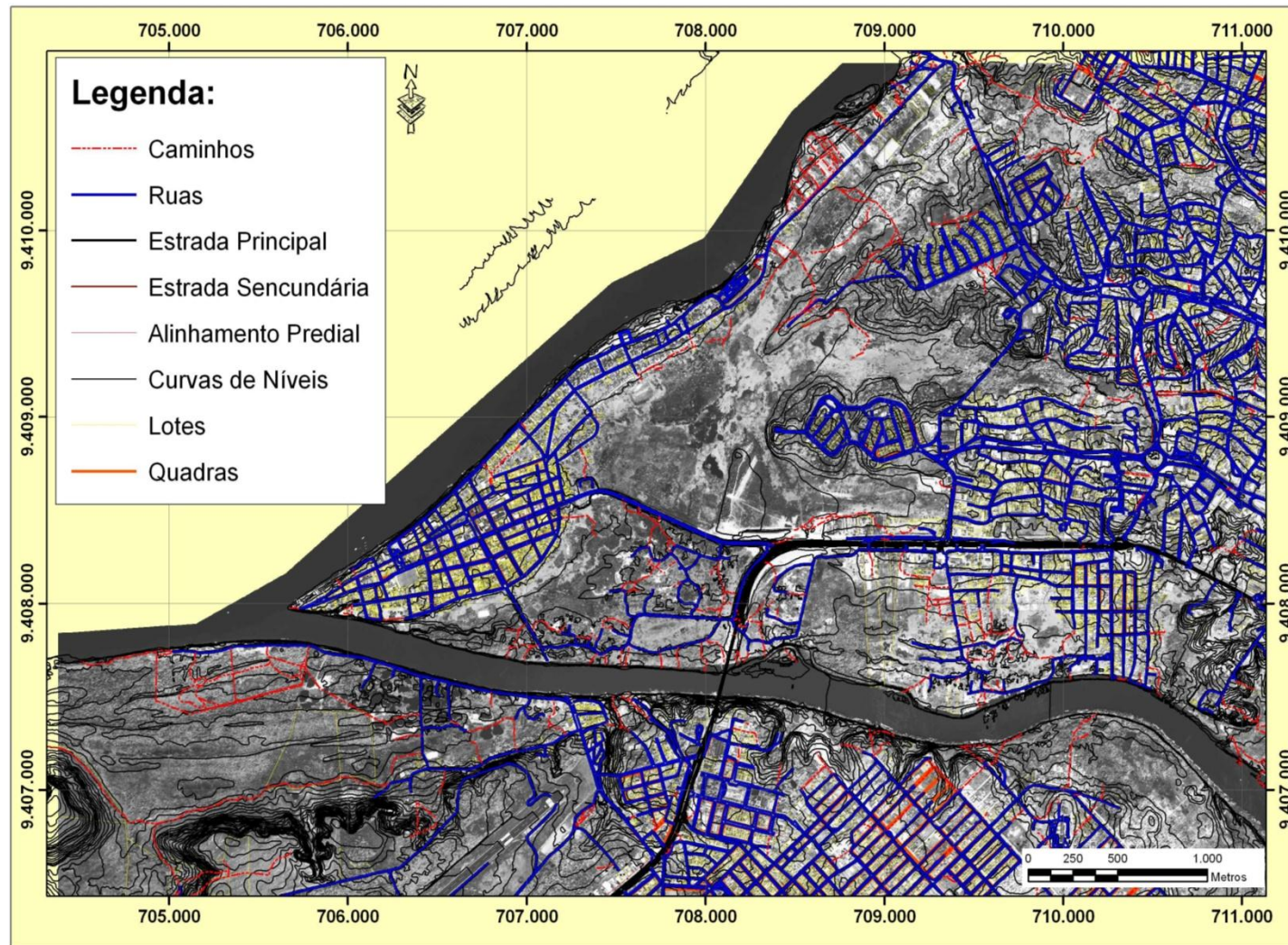


Figura 32 - Imagem de Satélie sobreposto com a base cartográfica da Prefeitura Municipal de Marabá/COHAB-PA.

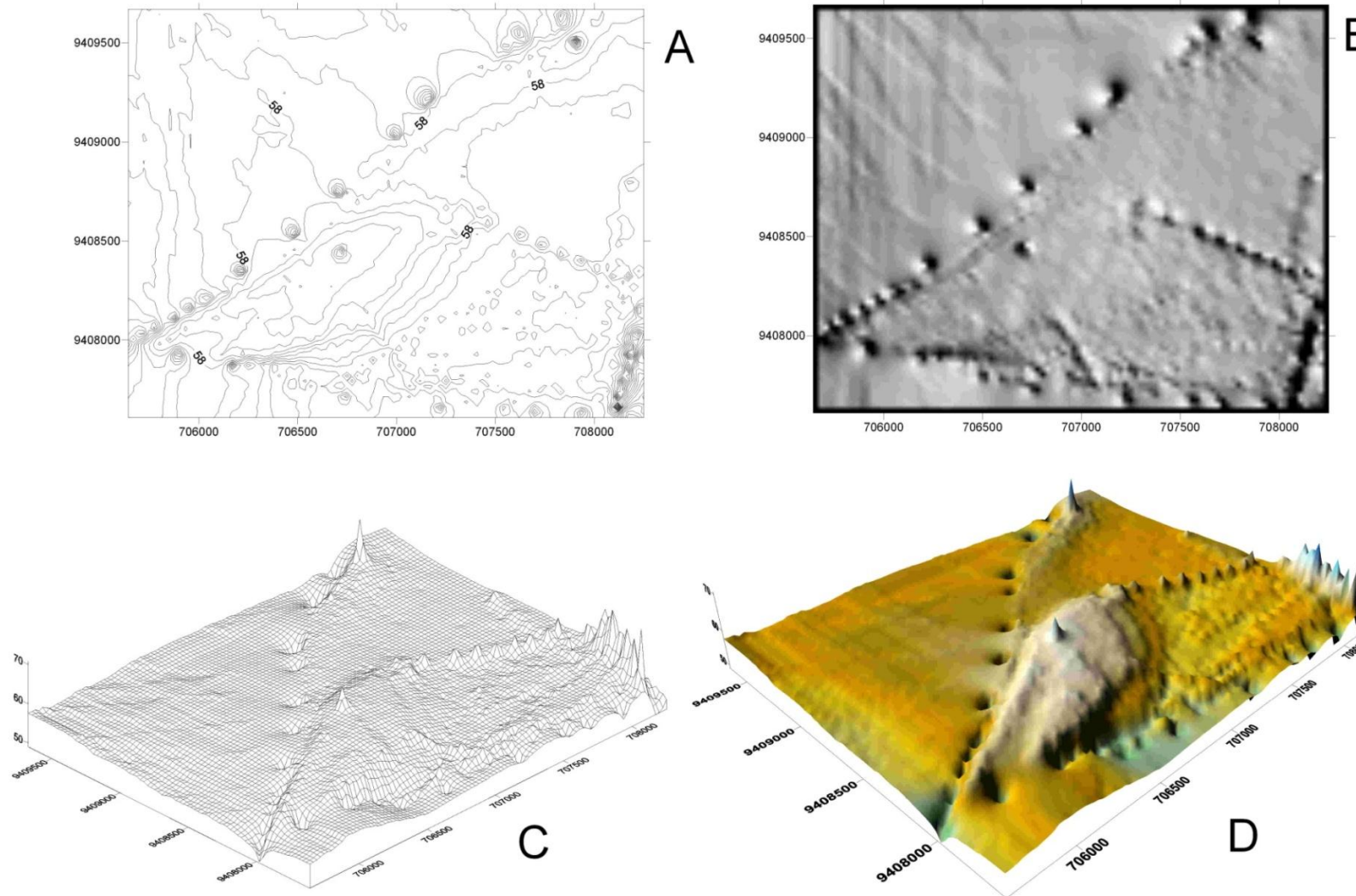


Figura 33- Exemplos de aplicação de Modelos Digitais de Terreno. Curvas de Níveis (A), Modelo de grade regular representado como uma imagem sombreada (B), Modelo de grade irregular triangular (C) e Modelo de Superfície Colorida (D). Elaboração: Jamer Costa

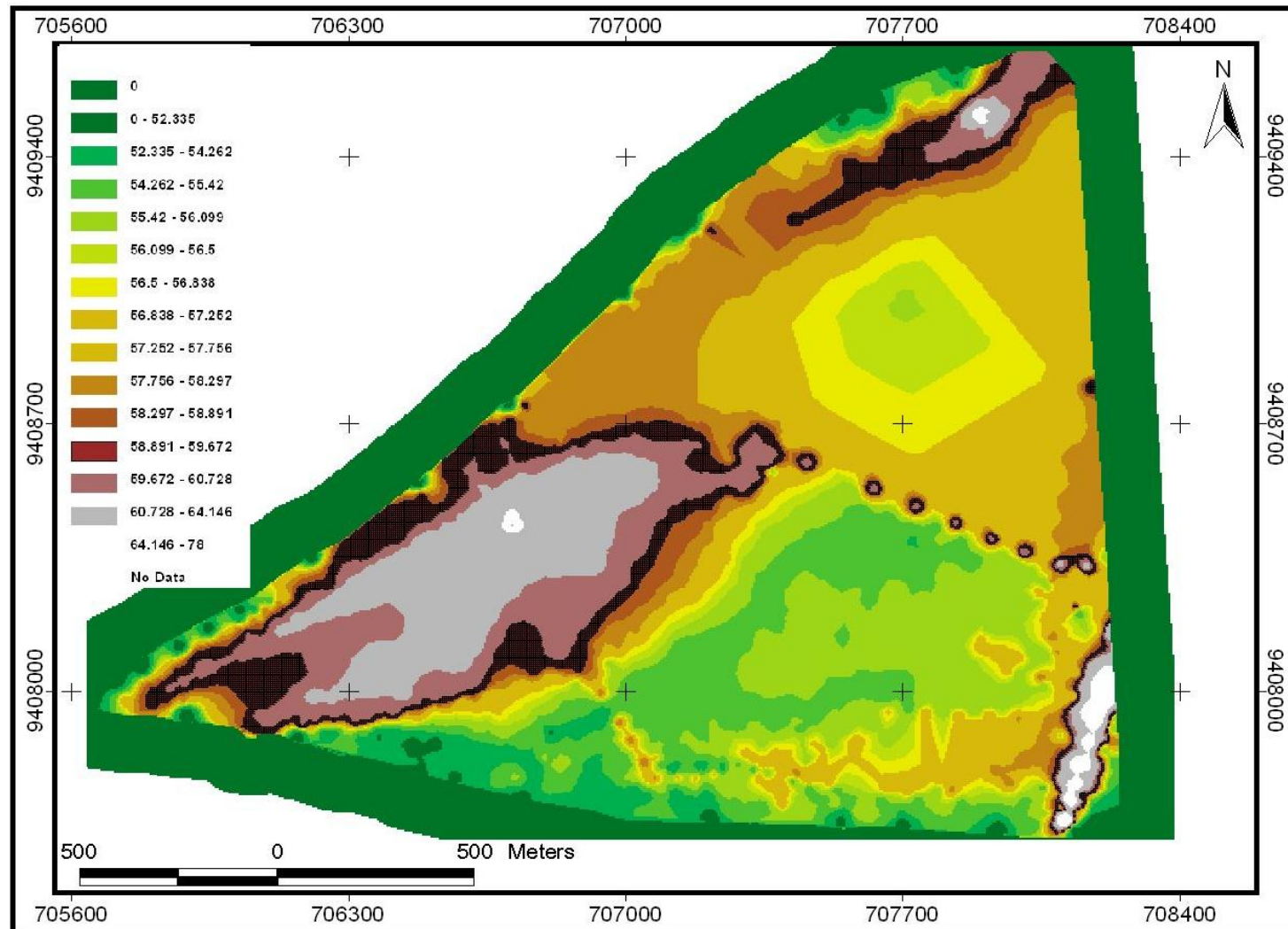


Figura 34 - Modelo Digital do Terreno empregado no Sistema de Alerta de Enchente.



Figura 35 - Modelo Digital do Terreno do tipo superfície utilizando a imagem de satélite para o modelo 3D, com exagero vertical acentuado.

3.3.3.1.2. Desenvolvimento do Sistema de Alerta Pororoca no ArcView 3.3

Nesta fase envolveu o desenvolvimento da lógica em *avenue*, onde foram escritos todos os scripts para:

1. Entrada de dados dos níveis dos rios em Carolina e Conceição do Araguaia;
2. Aplicação do modelo hidrológico;
3. Seleção no MDT das áreas atingidas pela enchente;
4. Elaboração de janelas e outros.

a) Tela de Abertura do Sistema de Alerta (Figura 36)

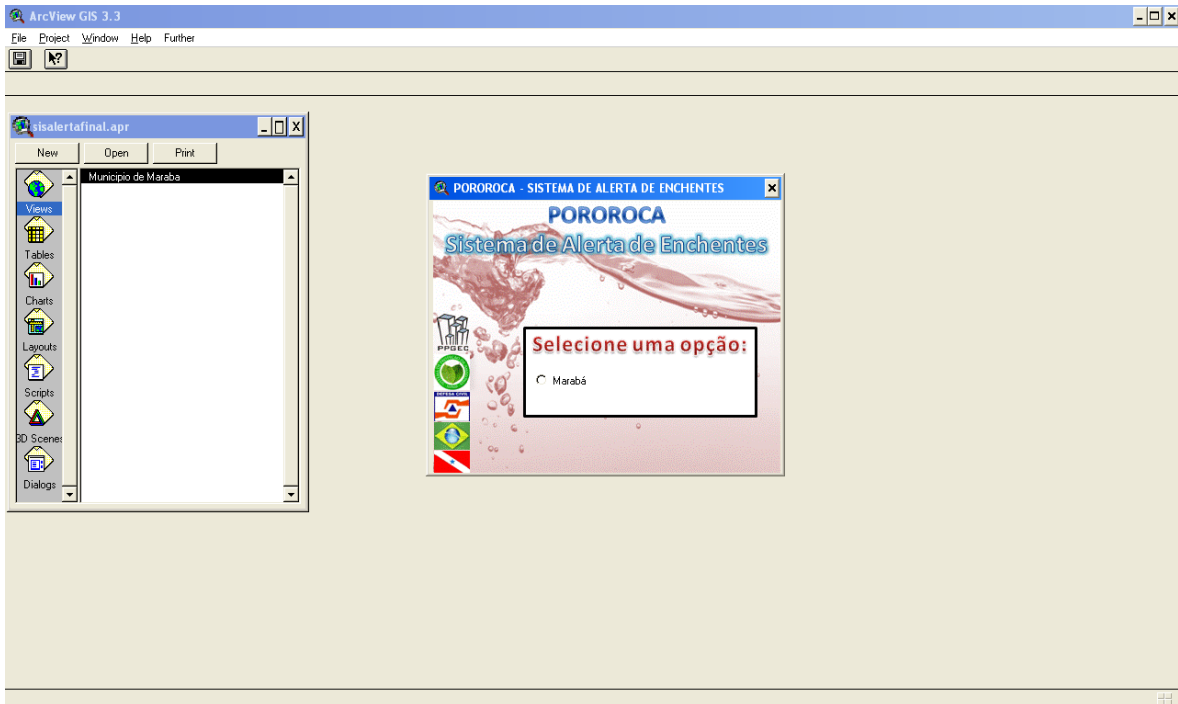


Figura 36 - Tela de Abertura do Sistema de Alerta Pororoca.

b) Script para a tela de abertura:

_001 Open Dialog Menu Inicial

```

! *****
! * Script desenvolvido por Jamer Andrade da Costa *
! * Geólogo - Especialista em GIS e Sensoriamento Remoto *
! * Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM *
! * e-mail: jamer.costa@sipam.gov.br ou jamer@terra.com.br *
! *****
! -----
! Fechando a janela do BOX Maraba
! -----
av.GetProject.FindDialog("MARABA").Close
av.GetProject.FindDialog("TRABALHANDO").Close
theProject=av.GetProject
! -----
! Abrindo a Janela do Menu Inicial Desejado
! -----
For each document in av.GetProject.GetDocs
    
```

```

document.GetWin.Close
end
_theDialog = av.FindDialog("POROROCA")
_DDdialogX = _theDialog.ReturnExtent.ReturnOrigin.GetX
_DDdialogY = _theDialog.ReturnExtent.ReturnOrigin.GetY
_theDialog.MoveTo(350,195)
_theDialog.Open
'self.getdialog.close

```

c) Script para abrir a caixa de diálogo do Sistema de Alerta Pororoca.

_002 Open Dialog Maraba Info

```

! *****
! * Script desenvolvido por Jamer Andrade da Costa      *
! * Geólogo - Especialista em GIS e Sensoriamento Remoto *
! * Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM            *
! * e-mail: jamer.costa@sipam.gov.br ou jamer@terra.com.br *
! *****

```

```

theProject=av.GetProject

```

```

' -----
' Abrindo a Janela do Menu Inicial Desejado
' -----

```

```

For each document in av.GetProject.GetDocs

```

```

document.GetWin.Close
end
_theDialog = av.FindDialog("MARABA")
_DDdialogX = _theDialog.ReturnExtent.ReturnOrigin.GetX
_DDdialogY = _theDialog.ReturnExtent.ReturnOrigin.GetY
_theDialog.MoveTo(400,240)
_theDialog.Open
self.getdialog.close

```

d) Menu de opções do Sistema Pororoça (Figura 37).

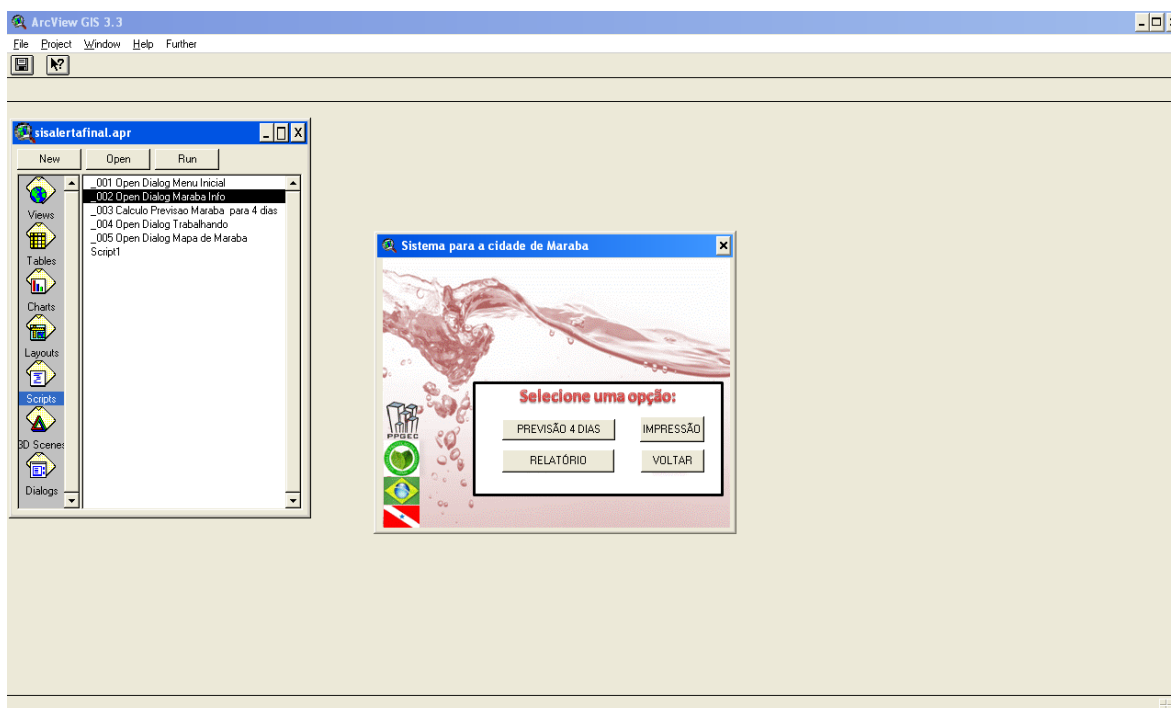


Figura 37 - Menu de opções do Sistema Pororoça.

e) Tela de menu da entrada de dados e de visualização do resultado da previsão (Figura 38).

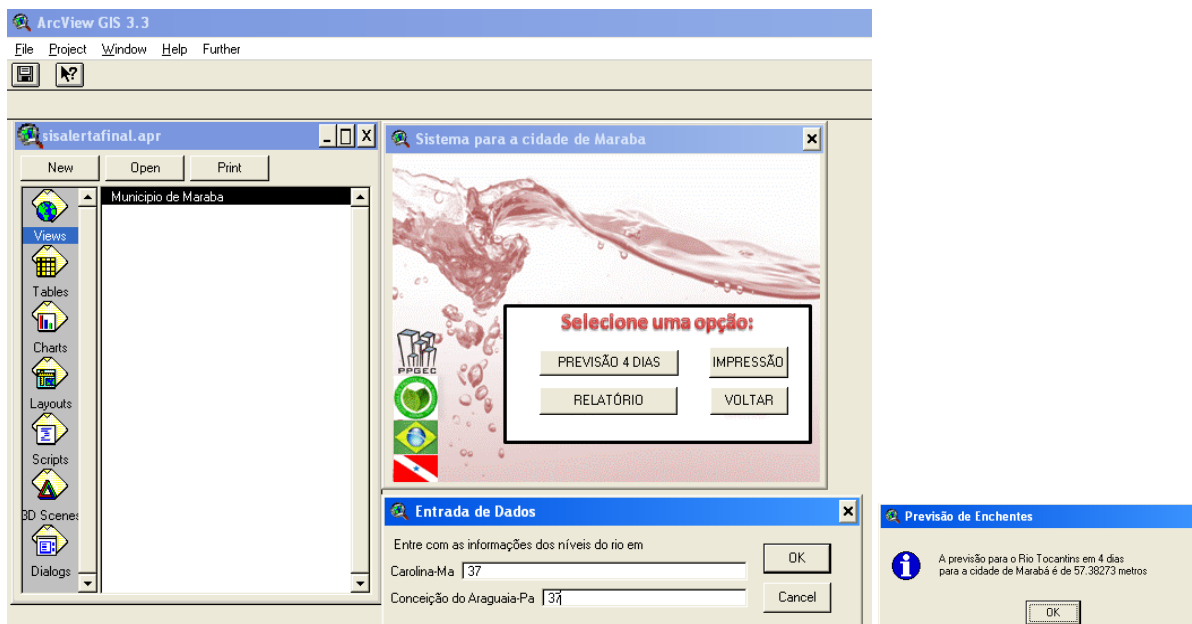


Figura 38 - Menu da entrada de dados e de visualização do resultado da previsão.

f) Script para aplicação do modelo de previsão:

```

_003 Calculo PrevisaoMaraba para 4 dias
' *****
' * Script desenvolvido por Jamer Andrade da Costa *
' * Geólogo - Especialista em GIS e Sensoriamento Remoto *
' * Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM *
' * e-mail: jamer.costa@sipam.gov.br ou jamer@terra.com.br *
' * Distribuição Gratuita *
' *****
' -----
' Solicitação dos níveis dos rios em Carolia-Ma e Conceição Araguaia-Pa
' -----
Atributos={"Carolina-Ma","Conceição do Araguaia-Pa"}
ValDef={"0.00","0.00"}
Ident=MsgBox.multipinput("Entre com as informações dos níveis do rio em", "Entrada de
Dados",Atributos,ValDef)
' Input nível do rio em Carolina-Maranhão
Niv07Car=ident.Get(0)
' Input nível do rio em Conceição do Araguaia-Pará
Niv07CoA=ident.Get(1)
' -----
' Modelo para previsão para o nível do rio Tocantins em Marabá
' Diferença entre a régua e a topografia é de 71.88 ortometrica
' -----
previsao1=((-131.16+ (0.5861*(Niv07Car.AsNumber*100)) + ((0.9941041*(Niv07CoA.AsNumber*100)
))) / (100) + 71.88
previsao=previsao1.SetFormat("d.ddddd")
previsao2=previsao.AsString
' -----
' Abrir uma janela indicando o resultado do modelo de previsão para 4 dias
' -----
msgBox.Info("A previsão para o Rio Tocantins em 4 dias"+NL+"para a cidade de Marabá é
de"+previsao2++"metros","Previsão de Enchentes")
' -----
' Selecionando um específico tema do view indicado anteriormente ("NOME DO VIEW")
' -----
' Otema=av.GetProject.FindDoc("Nome do View").FindTheme("Nome do Tema")
Otema=av.GetProject.FindDoc("Municipio de Maraba").FindTheme("mdt")
Otema.SetActive(True)
OtFtab=Otema.GetFTab
Obitmap=OtFtab.GetSelection
exp="([cota]<="+previsao.AsString+)"
OtFtab.Query(exp,Obitmap,#VTAB_SELTYPE_NEW)
' -----
' Selecionando o Projeto
' -----
theProject=av.GetProject
' -----
' Apagando janelas abertas
' -----
For each document in av.GetProject.GetDocs
document.GetWin.Close
end
' -----
' Fechando a janela do BOX Maraba
' -----
av.GetProject.FindDialog("MARABA").Close
Otema2=av.GetProject.FindDoc("Municipio de Maraba").FindTheme("Casas")
Otema2.SelectByTheme(Otema,#FTAB_RELTYPE_INTERSECTS,1,#VTAB_SELTYPE_NEW)
' anFTheme.SelectByPolygon (aPolygon, aSelType)

```



```

MeuView1=Av.GetProject.FindDoc("Município de Maraba")
'Abrir o View selecionado
MeuView1.GetWin.Open
! *****
! -----
! ' Abrir janela Menu Maraba
! -----
av.GetProject.FindDialog("MARABA").Open
! Procurar a tabela e transforma ela numa tabela virtual
't=av.GetProject.FindDoc("OtFtab")
!Para Abrir a janela da tabela cities.dbf
't.GetWin.OPEN

```

g) Script para finalização e retornar a tela do menu:

```

! -----
! ' Fechando a janela do BOX Maraba
! -----
av.GetProject.FindDialog("MARABA").Close

Otema2=av.GetProject.FindDoc("Município de Maraba").FindTheme("Casas")

Otema2.SelectByTheme(Otema,#FTAB_RELTYPE_INTERSECTS,1,#VTAB_SELTYPE_NEW)

! anFTheme.SelectByPolygon (aPolygon, aSelType)

MeuView1=Av.GetProject.FindDoc("Município de Maraba")
'Abrir o View selecionado
MeuView1.GetWin.Open

```

3.3.3.2. SIMULAÇÃO

Com objetivo de verificar a sua eficiência, o Sistema de Monitoramento de Enchente foi testado aplicando valores reais:

Primeira Simulação:

Cota em Carolina = 5.38 m

Conceição do Araguaia = 6.27 m

Resultado da simulação: com antecedência de 4 dias, previsão de 79,95 metros para o nível da água do rio Tocantins, em Marabá (Figura 39).

Segunda Simulação:

Cota em Carolina = 7.11 m

Conceição do Araguaia = 7.89 m

Resultado da simulação: com antecedência de 4 dias, previsão de 82,58 metros para o nível da água do rio Tocantins, em Marabá (Figura 40).

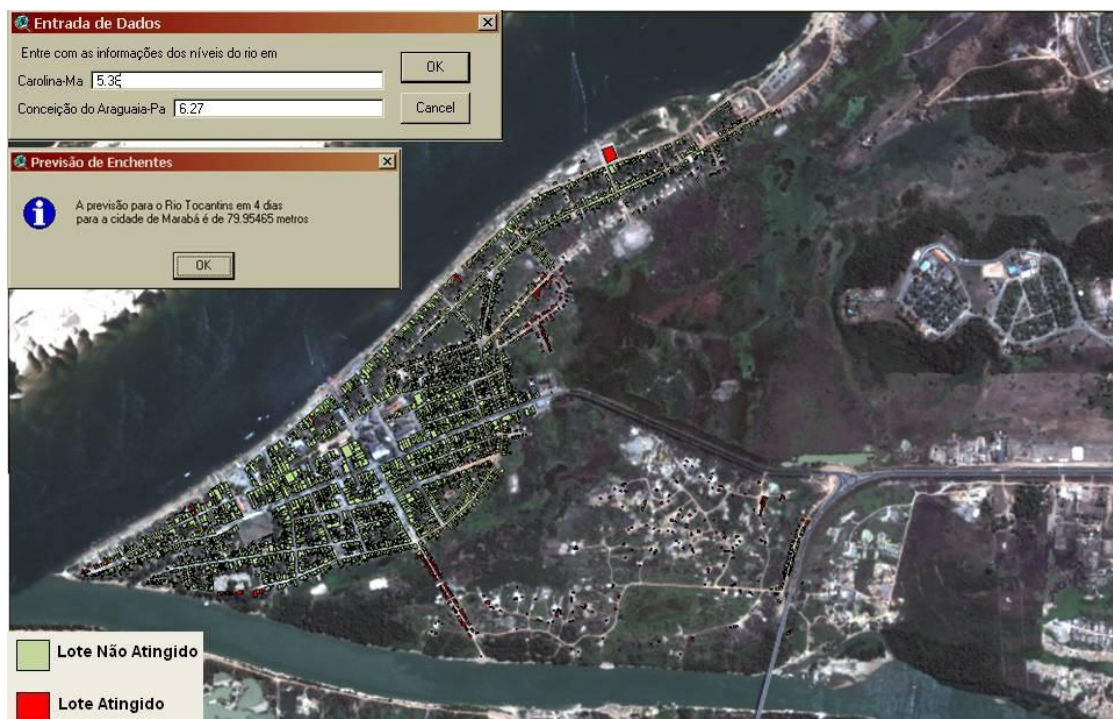


Figura 39 - Resultado da primeira simulação, prevendo uma cota de 79,95 metros.



Figura 40 - Resultado da segunda simulação, prevendo uma cota de 82,58 metros.

Terceira Simulação:

Exemplo da maior cheia já registra em Marabá, no ano de 1980.

Cota em Carolina = 16.09 m

Conceição do Araguaia = 9.89 m

Resultado da simulação: com antecedência de 4 dias, previsão de 89,83 metros para o nível da água do rio Tocantins, em Marabá (Figura 41).

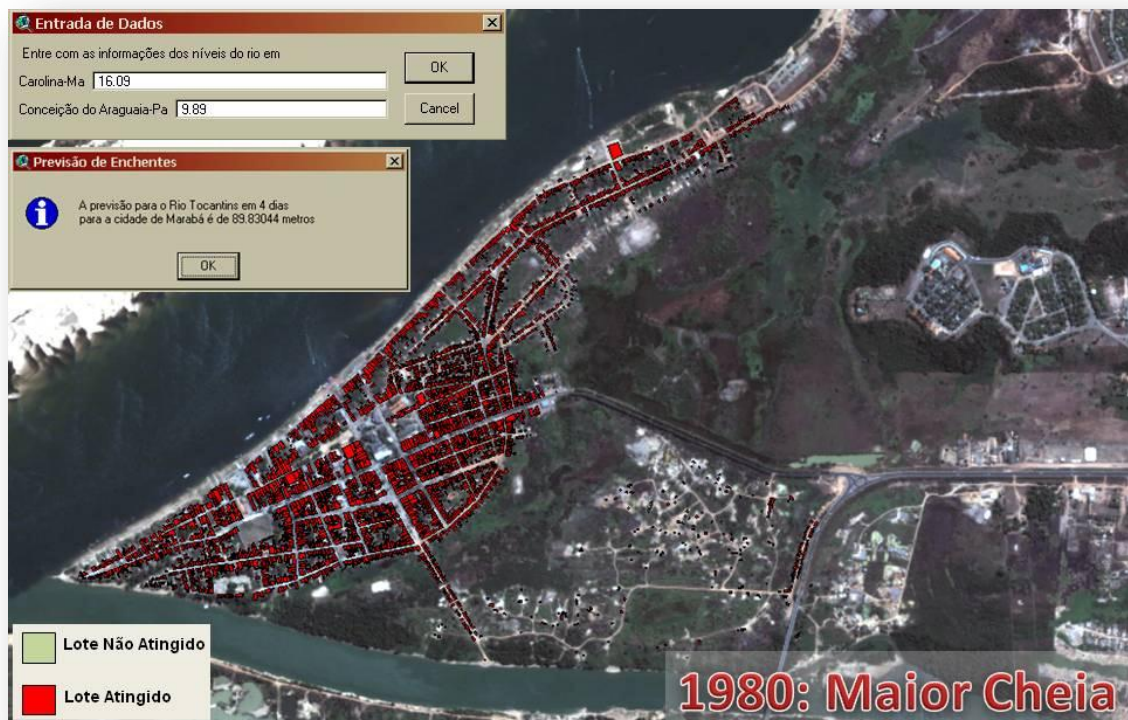


Figura 41- Resultado da terceira simulação, mostrando os valores da ocorrência para a maior cheia já registrada em Marabá, prevendo uma cota de 89,83 metros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. BACIA HIDROGRÁFICA DO ARAGUAIA-TOCANTINS

A Bacia do Araguaia-Tocantins abrange uma área de 767.164 km² e ocupa 447.424 km² da região Norte, o que corresponde a aproximadamente 11,56% da região (Tabela 17). Essa região corresponde a 9% do território nacional, ocupando áreas dos estados de Goiás (25,7 %), Tocantins (36,3 %), Pará (16,5 %), Maranhão (3,8 %), Mato Grosso (17,6 %) e o Distrito Federal (0,1 %) (Gráfico 8). Suas nascentes estão localizadas no Centro-Oeste do Brasil até a sua confluência, na região limite dos estados do Pará, Tocantins e Maranhão, região conhecida como Bico do Papagaio, e deste ponto, até a foz passa está inserida na Região Norte do Brasil (ANA, 2010).

Tabela 17 - Relação área drenada das bacias hidrográficas na região norte.
Fonte: IBGE, Anuário Estatístico do Brasil, 1999.

| Bacias Hidrográficas da Região Norte | | |
|---|--------------------------------------|--|
| Bacias | Área Drenada (km²) | % da Área Drenada na Região Norte |
| Rio Amazonas | 3.422.214 | 88,44 |
| Tocantins-Araguaia | 447.424 | 11,56 |
| Região Norte | 3.869.638 | 100,00 |

A direção da bacia é no sentido Sul-Norte e a densidade demográfica é de 8,1 habitantes/km², menor do que a média do país que é de 19,8 habitantes/km². Por toda a bacia, encontram-se espalhadas aproximadamente 7,9 milhões de pessoas (ANA, 2010).

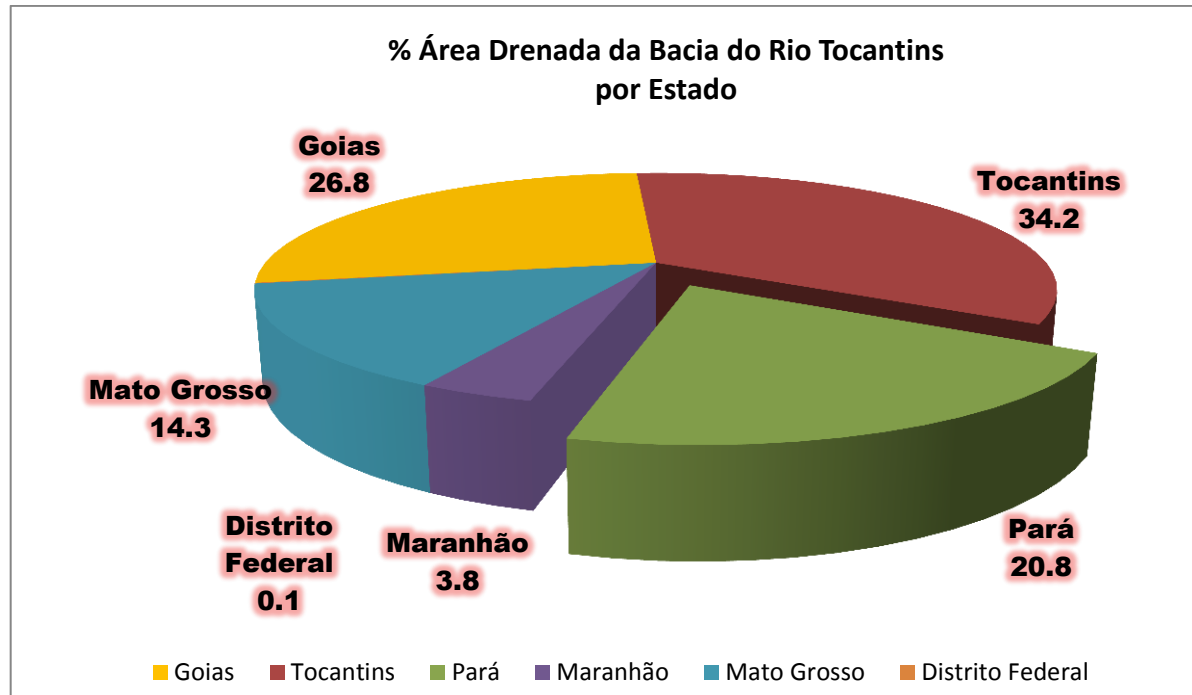


Gráfico 8 - Percentagem da área drenada da Bacia Araguaia-Tocantins por estado.
(Fonte: www.ana.gov.br)

4.1.1. BACIA DO RIO TOCANTINS

O Rio Tocantins nasce no Planalto Central, na confluência dos rios das Almas e Maranhão. O rio possui nascentes com altitudes superiores a 1000 metros, atravessando relevo com altitudes na ordem de 200 a 500 metros, em sua maior parte, e na região do baixo Tocantins com altitudes inferiores a 100 metros. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica–ANEEL, a Bacia do Tocantins está subdividida em cinco sub-bacias e de acordo com a classificação dos cursos é dividida também em Alto, Médio e Baixo Tocantins (EPE, 2007) (Tabela 18).

O Alto Tocantins engloba a sub-bacias 20 e 21. A sub-bacia 20 localiza-se praticamente em território goiano, onde estão as nascentes do Rio Tocantins, atinge também o Distrito Federal e o dois municípios do Estado do Tocantins, representado principalmente pelos tributários rios Descoberto, das Almas, Tocantinzinho e Maranhão. Já na sub-bacia 21, o principal tributário é o rio Paranã e seus afluentes rios Palma e São Domingos (EPE, 2007).

No Médio Tocantins, engloba as sub-bacias 22 e 23, localizadas praticamente no Estado do Tocantins, possui como principais

tributários os rios Manoel Alves, Manoel Alves Grande, Cana Brava, Santa Tereza, Santo Antônio, São Valério, Farinha, Lajeado, Balsas, Perdido e Sono (EPE, 2007).

O Baixo Tocantins engloba a sub-bacia 29, e está inserida totalmente no Estado do Pará, onde se localiza a sua foz. Tem como principais tributários os rios Parauapebas, Sororó, Cajazeiras e Itacaiúnas, este último tem sua confluência com o Rio Tocantins na cidade de Marabá (EPE, 2007).

Tabela 18 – Características da Bacia do Rio Tocantins

| REGIÃO HIDROGRÁFICA | SUB-BACIAS | | PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS | CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO CURSO |
|--|------------|---------------|---|----------------------------------|
| | CÓDIGO | RIO PRINCIPAL | | |
| T O C A N T I N S - A R A G U A I A | 20 | TOCANTINS | Rios das Almas, Bagagem, Tocantinzinho e Maranhão | Alto Tocantins |
| | 21 | TOCANTINS | Paraná e seus afluentes Palma e São Domingos | Alto Tocantins |
| | 22 | TOCANTINS | Cana Brava, Santa Tereza, Santo Antonio, São Valério, Manuel Alves e seus afluentes das Balsas, Perdido, do Sono. | Médio Tocantins Porção Sul |
| | 23 | TOCANTINS | Manuel Alves Grande, Farinha e Lajeado | Médio Tocantins Porção Norte |
| | 29 | TOCANTINS | Parauapebas, Sororó, Cajazeiras e Itacaiúnas | Baixo Tocantins |

A Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, na sua porção a montante da confluência com o rio Araguaia, é caracterizada por uma topografia monótona, com altitudes variando entre 200 e 500 m na maior parte, e superiores a 1.000 m nas cabeceiras e sua rede de drenagem é relativamente densa (EPE, 2007). Quando comparado ao Rio Araguaia, as declividades médias são maiores, com poucas áreas alagadiças, o que possibilite a formação de enchentes de resposta mais rápida. (MINISTÉRIO DO INTERIOR et al., 1980).

4.1.2. BACIA DO RIO ARAGUAIA

O Rio Araguaia está localizado nas regiões centro-oeste e norte do Brasil, seu curso, quase paralelamente ao Rio Tocantins, serve como divisor natural do estado de Mato Grosso com os estados de Goiás e Tocantins, sua nascente localiza-se numa altitude de 850 metros na altura do paralelo 18° S, e após percorrer 720 km divide-se em dois braços, a oeste o Rio Araguaia (maior braço) e a leste o Rio Javaés (menor braço), formando a ilha do Bananal que é a maior ilha fluvial do mundo, com uma área de 1.916.225 hectares, se estendendo da latitude de 12°49' S por 320 km até o paralelo 9°44'S. Logo em seguida passa a ser o divisor natural entre os estados do Pará e do Tocantins, até confluir com o Rio Tocantins, na região denominada de Bico do Papagaio, até chegar à sua foz, atingindo altitudes de 100m. A densidade de drenagem e os portes dos rios desta bacia são pequenos quando comparados com o do Rio Tocantins; seu maior tributário é o Rio das Mortes (ANA, 2006). O Rio Araguaia possui trechos com declividades suaves, atravessando inúmeras cachoeiras. Ao longo de seu curso, existem grandes áreas pantanosas, o que permite uma grande capacidade regularizadora natural dos deflúvios (MINISTÉRIO DO INTERIOR et al., 1980).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

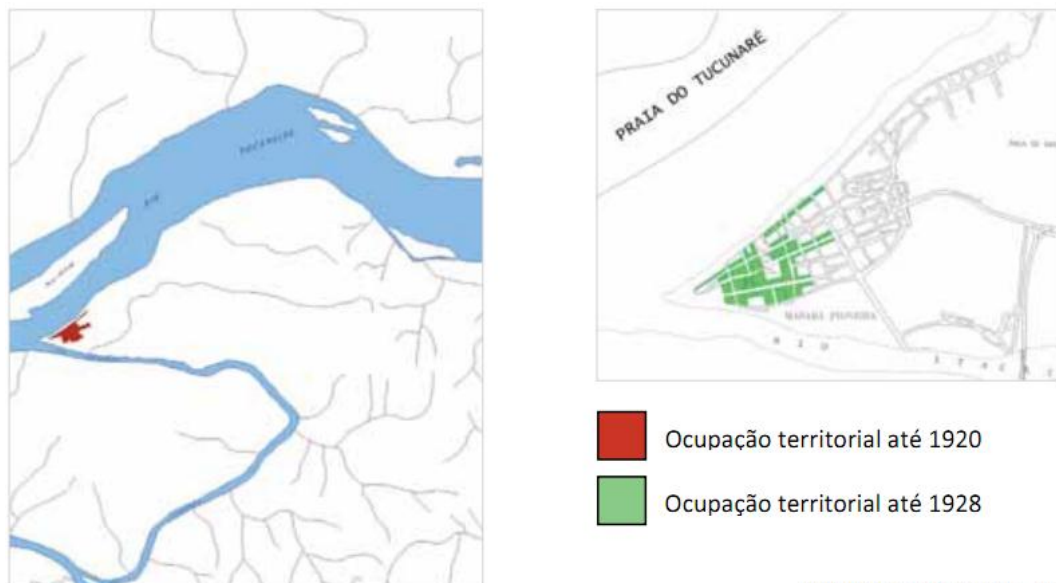
4.2.1. ORIGEM DA OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A origem do nome Marabá remonta a um topônimo de origem indígena, possivelmente da nação Tupi ou Tapuia, já que ambas viveram na região e significa “filho do prisioneiro”, “estrangeiro”, ou ainda “fruto da índia com o branco”. Em Tupi, o nome origina-se da decomposição Mara = subará (mar, águas) e bá = bau, (parente, semelhante), onde o significado da palavra seria: “semelhante ao mar”. O fato é que Marabá está situada defronte à confluência do rio Tocantins com o rio Araguaia (GOMES, 2007).

Esta região, apesar de ter sido explorada pelos colonizadores portugueses ainda no Século XVI, ficou praticamente sem ocupação por 300 anos. A região começou a ser ocupada por colonizadores a partir de 1892, e seus primeiros

moradores foram chefes políticos foragidos de guerrilhas do norte de Goiás. O senhor Carlos Gomes Leitão, com seus familiares e auxiliares de trabalho, foram os pioneiros que se fixaram nas terras localizadas na confluência dos rios Tocantins e Itacaiúnas, atualmente conhecido como o Distrito Marabá Pioneira. O Sr. Leitão investigou, em volta deste ponto, locais com a presença de campos naturais para atividade pecuária. Numa dessas incursões, um de seus auxiliares deu um tiro, casual, em uma árvore, provocando o sangramento de um líquido branco que ao atingir o solo, coagulou-se espontaneamente, denominado de látex, oriundo da Seringueira, árvore da família das **Euphorbiaceae** (*Hevea brasiliensis*), que tempo mais tarde veio a gerar uns dos maiores ciclos de ocupação da Amazônia, o “Ciclo da Borracha” (SILVA, 2010).

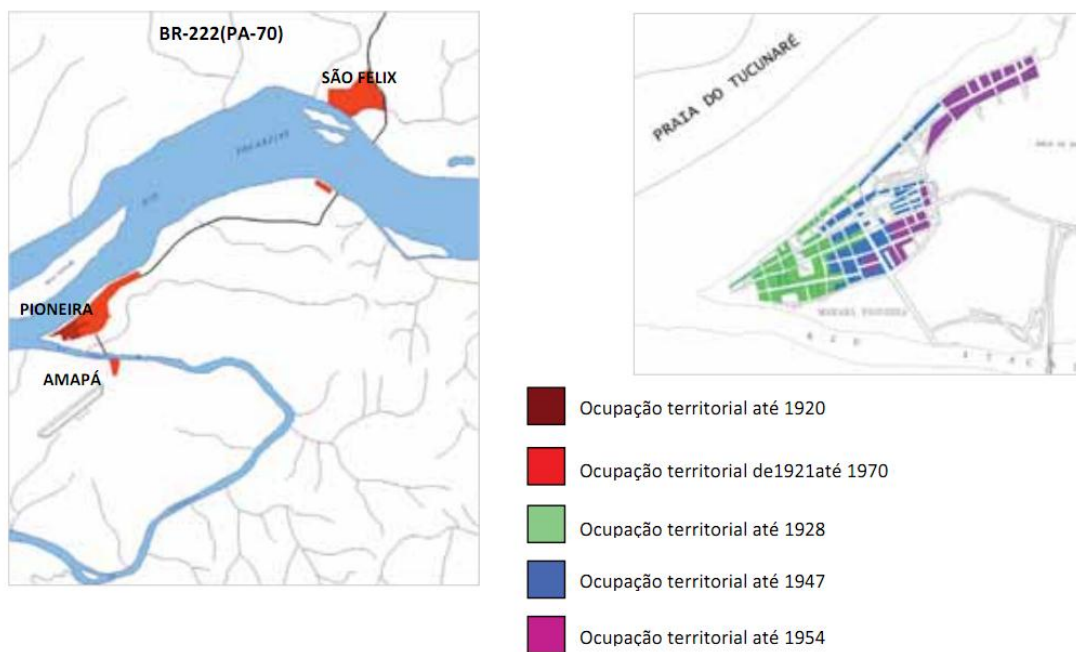
A cidade de Marabá desenvolveu-se a partir do Distrito Marabá Pioneira, localizado na confluência dos rios Itacaiúnas e Tocantins (Figura 42, Figura 43 e Figura 44), área também conhecida como Cabelo Seco e que está inserida na Bacia Hidrográfica do Araguaia-Tocantins. É justamente esta área, que é atualmente inundada todos os anos, a fonte de nosso estudo.



Fonte: Dados extraídos do PDUM - 1973

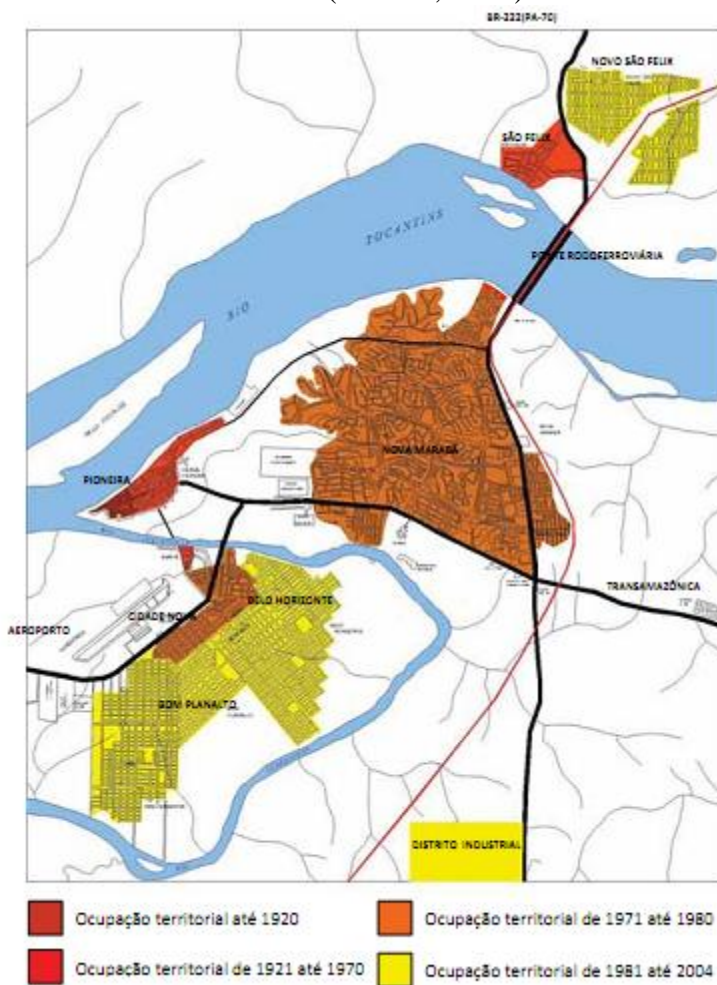
Figura 42 - Evolução da ocupação urbana de 1920 a 1928 na Cidade de Marabá-PA.

Fonte: (RAIOL, 2010)



Fonte: Dados extraídos do PDUM - 1973

Figura 43 - Evolução da ocupação urbana de 1920 a 1970 na Cidade de Marabá-PA.
 Fonte: (RAIOL, 2010)



Fonte: Dados fornecido pelo PIMM

Figura 44 - Evolução da ocupação urbana até 2004 na Cidade de Marabá-PA.
 Fonte: (RAIOL, 2010)

4.2.2. ÁREA DO EXPERIMENTO: MARABÁ PIONEIRA

Foi selecionada a região da Marabá Pioneira como o espaço para a realização da simulação do sistema de alerta de enchentes (Figura 45). Essa região foi o núcleo urbano, ponto de partida para a expansão da cidade, é uma extremidade territorial de forma triangular existente na junção dos rios Itacaiúnas e Tocantins (Fotografia 26). Os primeiros moradores (pioneiros), ao se instalarem, construíram as primeiras habitações, de características rudimentares, originando a cidade, sem nenhum projeto de urbanização.

Logo essa região foi densamente ocupada, principalmente devido à concentração de atividades econômicas que se tornaram a base material de sua sobrevivência e consolidação social. Entretanto, apesar de esta região ser inadequada para servir de moradia, já que é notoriamente susceptível às cheias periódicas, tem sido pólo de atração e, ainda hoje, é o centro socioeconômico da cidade de Marabá.



Fotografia 26 - Vista aérea de parte da região denominada Marabá Pioneira. Detalhe da confluência dos rios Tocantins e Itacaiúnas.

(Foto: Jamer Costa em 23/05/2011).

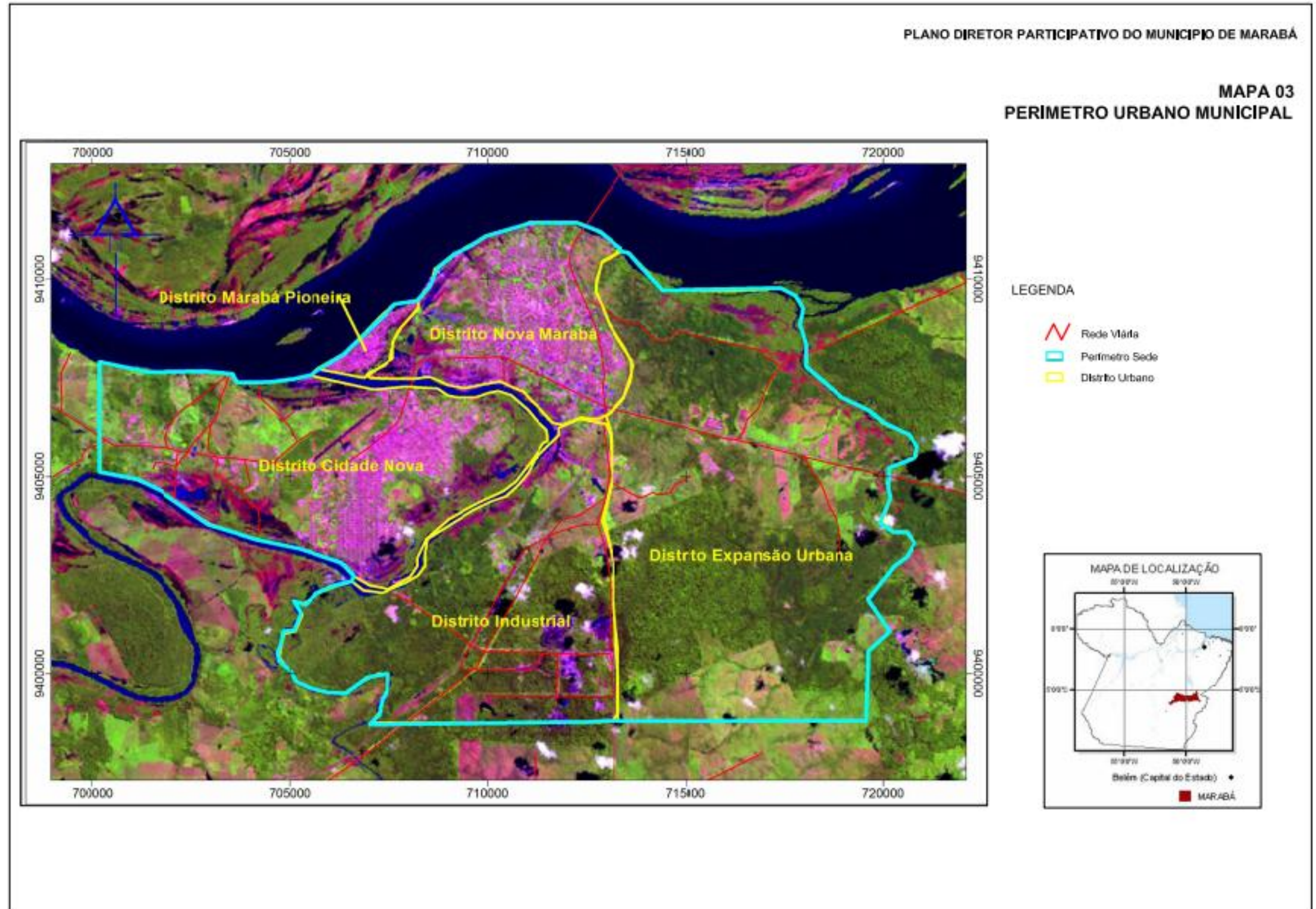


Figura 45 - Perímetro urbano municipal de Marabá. Fonte: Plano Diretor Municipal de Marabá - PMM (2006).

Porém, situada na área da planície de inundação dos rios Tocantins e Itacaiúnas, sem condições ideais para o estabelecimento de um aglomerado urbano estável, o crescimento da malha viária da cidade, de forma contínua, esbarrou em acidentes geográficos significativos: ao norte, o rio Tocantins; ao sul o rio Itacaiúnas; a oeste, a junção desses dois rios; a leste, os varjões alagadiços que se alongam por mais de dois quilômetros.

As condições desfavoráveis da área e os efeitos adversos das enchentes levaram o Governo Federal a realizar estudos visando a escolha do terreno ideal à expansão urbana, o que deu origem ao núcleo de expansão programada denominada Nova Marabá. Atualmente, o município de Marabá é conhecido como o Leão da Amazônia devido à perspectiva de se tornar efetivamente um pólo de desenvolvimento do sul e sudeste do Pará. Marabá conta com uma população atual de 203.000 habitantes, possui 3 bilhões de reais de produto bruto, conta com uma renda per capita anual de 16.000 reais e possui um crescimento anual econômico de 19.7%, motivado principalmente pela siderurgia/mineração (MEDEIROS, 2010).

Devido à sua localização estratégica, ocupa justamente uma região que constantemente está susceptível e vulnerável aos processos de enchentes e inundações, em decorrência do aumento do nível dos rios (WEITZE et al., 2008).

4.2.3. ASPECTOS FÍSICO-TERRITORIAIS

Segundo o Projeto RADAMBRASIL (PROJETO RADAMBRASIL, 1974), a área está localizada sobre as rochas do Grupo Tocantins (Pré-Cambriano Médio a Superior), caracterizadas por rochas com alto grau de metamorfismo (filitos e xistos). Com relação à geomorfologia, a área é caracterizada por superfícies pediplanadas, dissecadas em colinas e ravinas. O relevo é ondulado e suave ondulado, e com altitude média de 125 metros.

4.2.3.1. LOCALIZAÇÃO

O município de Marabá está inserido na microrregião de Marabá que está inserida na mesorregião Sudeste Paraense. A sede municipal está localizada nas confluências entre os rios Itacaiúnas e Tocantins, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: 05° 21' 54" Latitude Sul e -49° 8' 16" W Longitude WGr (Figura 46).

4.2.3.2. LIMITES MUNICIPAIS

Ao Norte - Municípios de Itupiranga, Rondon do Pará, Nova Ipixuna e Repartimento;

Leste - Municípios de Bom Jesus do Tocantins, São João do Araguaia, São Domingos do Araguaia e São Geraldo do Araguaia;

Ao Sul - Municípios de Curionópolis, Parauapebas, Eldorado do Carajás, Parauapebas e São Félix do Xingu;

A Oeste - Município de São Félix do Xingu.

4.2.3.3. TOPOGRAFIA

A topografia do Município apresenta uma ampla variação em seus valores altimétricos, com as cotas máximas por volta de 700 metros, na porção ocidental do seu território, nas proximidades da Serra dos Carajás, onde ainda se destacam as Serras do Cinzento e de Redenção, além de outras serras de valores altimétricos menores, localizadas às margens do rio Tocantins, a Noroeste da sede municipal (Figura 47). Na área de estudo são observadas cotas ortométricas variando de 71,68 metros até 100,67 metros.

4.2.3.4. GEOLOGIA E RELEVO

O município de Marabá está inserido numa região com geologia e estrutura complexas, constituída por rochas de idade Pré-Cambriana do Complexo Xingu (granitos, migmatitos, granulitos, etc); Grupo Tocantins (filitos, xistos, gnaisses, quartzitos, metabasitos, etc); formações ferríferas, etc; Formação Rio Fresco, com Membro Azul (folhelhos manganésíferos, siltitos, argilitos e arenitos). Na região localizada na porção Sudoeste da sede municipal, há a ocorrência de rochas da Formação Pedra de Fogo, de idade paleozoica, completando o quadro dessa

estrutura, com a sedimentação cenozóica, do Quaternário Recente, que constituem as grandes áreas aluvionares, nas calhas dos principais rios do Município (Figura 48 e Figura 49). As áreas do Quaternário Recente possuem uma ligação direta com as enchentes, toda área mapeada como Quaternário – Aluviões [Qal] está sujeita à inundação, associada ao ciclo hidrológico, **e a probabilidade de ocorrência de inundação em uma área mapeada como Quaternário Recente é de 100%** (CPRM, 2007).

4.2.3.5. HIDROGRAFIA

O principal acidente hidrográfico é a bacia do rio Itacaiúnas, afluente pela margem esquerda do rio Tocantins, em cuja foz encontra-se a sede municipal. Cortando o seu território com direção geral oeste/leste, apresenta como principais tributários, pela margem direita, os rios Madeira, Parauapebas, (com seus afluentes, rio Sapucaia, Caracol e Castanheira), da Onça, Vermelho (com seu afluente rio Sereno, que limita ao Sul com o Município de Curionópolis, e o rio Sororó, cujo afluente, o Sororozinho, também faz limite ao Sul com o Município de Curionópolis). Pela margem esquerda, destacam-se os rios Aquiri, Tapirapé (com seus tributários, rios Salobro, Salobrinho e Bernardino), Preto e os igarapés Cinzeiro e Grotta do Café. Importante, ainda, é a presença do rio Tocantins, em um pequeno trecho do seu médio curso, com seus afluentes rio Tauazinho, limite natural Leste, com o município de São João do Araguaia, a Flecheira, que limita ainda a leste, com o município de Bom Jesus do Tocantins (Figura 50) (SANTOS, 2008).

Segundo a Agência Nacional de Águas, a Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia possui grande potencialidade para agricultura, atingindo os estados de Goiás (26,8%), Tocantins (34,2%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%), que ocupam uma área total de 967.059 km² (11% do território nacional). Uma grande porção da bacia encontra-se na Região Centro-Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até a sua confluência, e daí, para jusante, adentra na Região Norte até a sua foz. É importante salientar que aproximadamente 7,9 milhões de pessoas vivem na sua área de abrangência, correspondendo a 4,7% da população nacional. Deste total, 72% vivem em áreas urbanas e, em função da relação entre a área e a população, leva a região a ter 8,1 hab./km², bem inferior à densidade demográfica do Brasil, que é de 19,8 hab./km² (Figura 51).

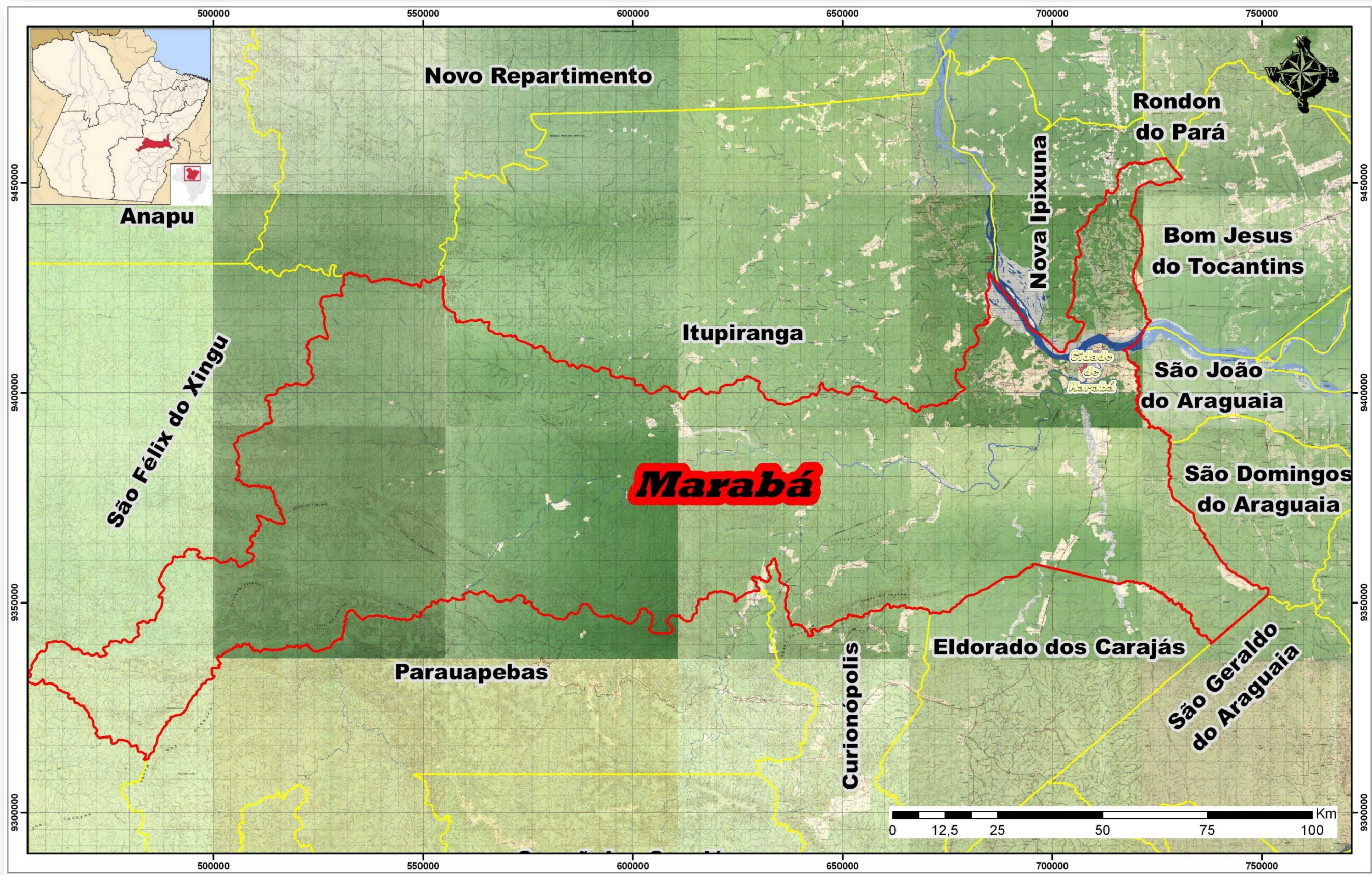


Figura 46 - Mapa de localização e de topografia do município de Marabá (Fonte: mosaicos das folhas DSG-IBGE 1:100.000).

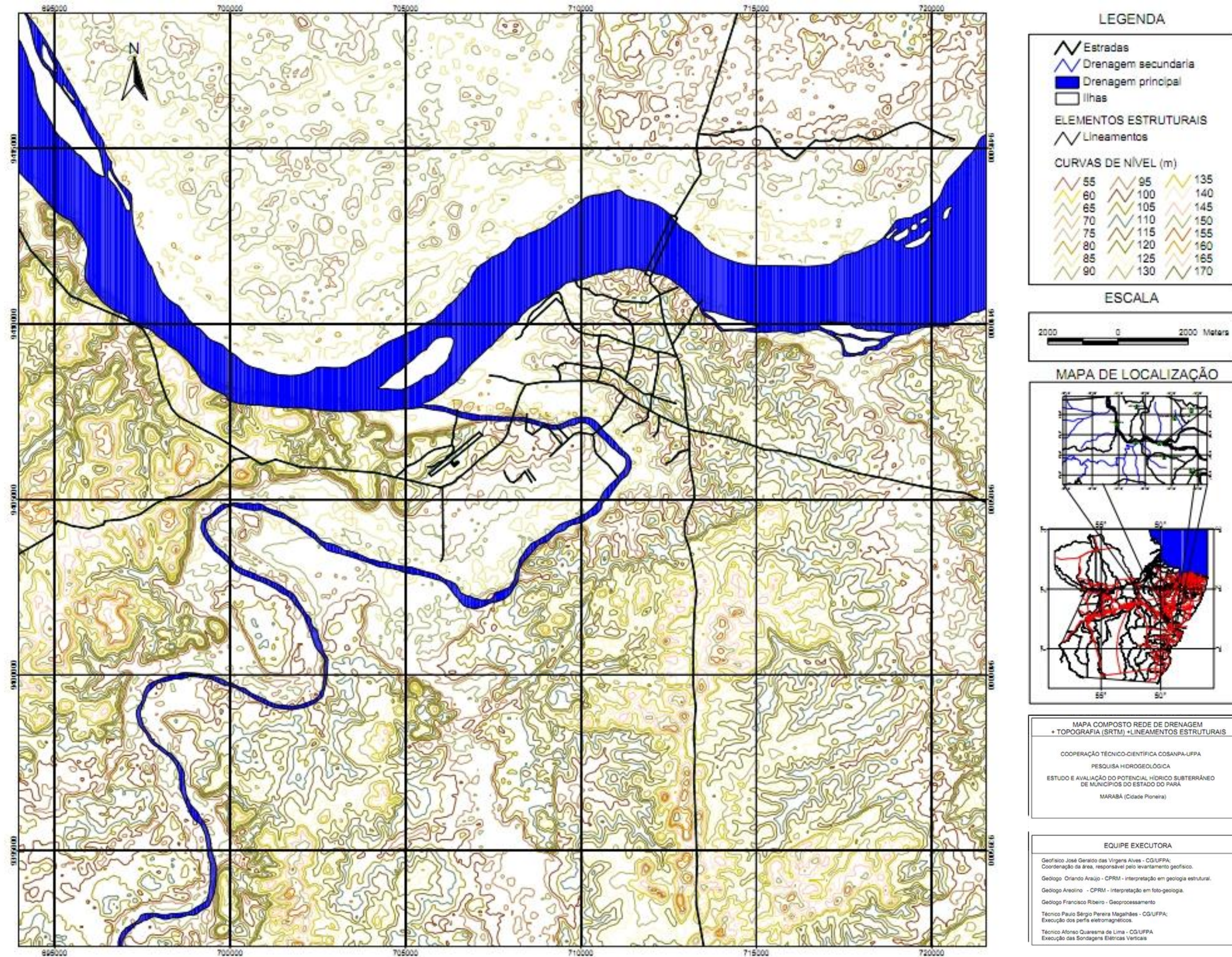


Figura 47 - Mapa topográfico da cidade de Marabá-Pa (Fonte: COSAMPA/UFFPA)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

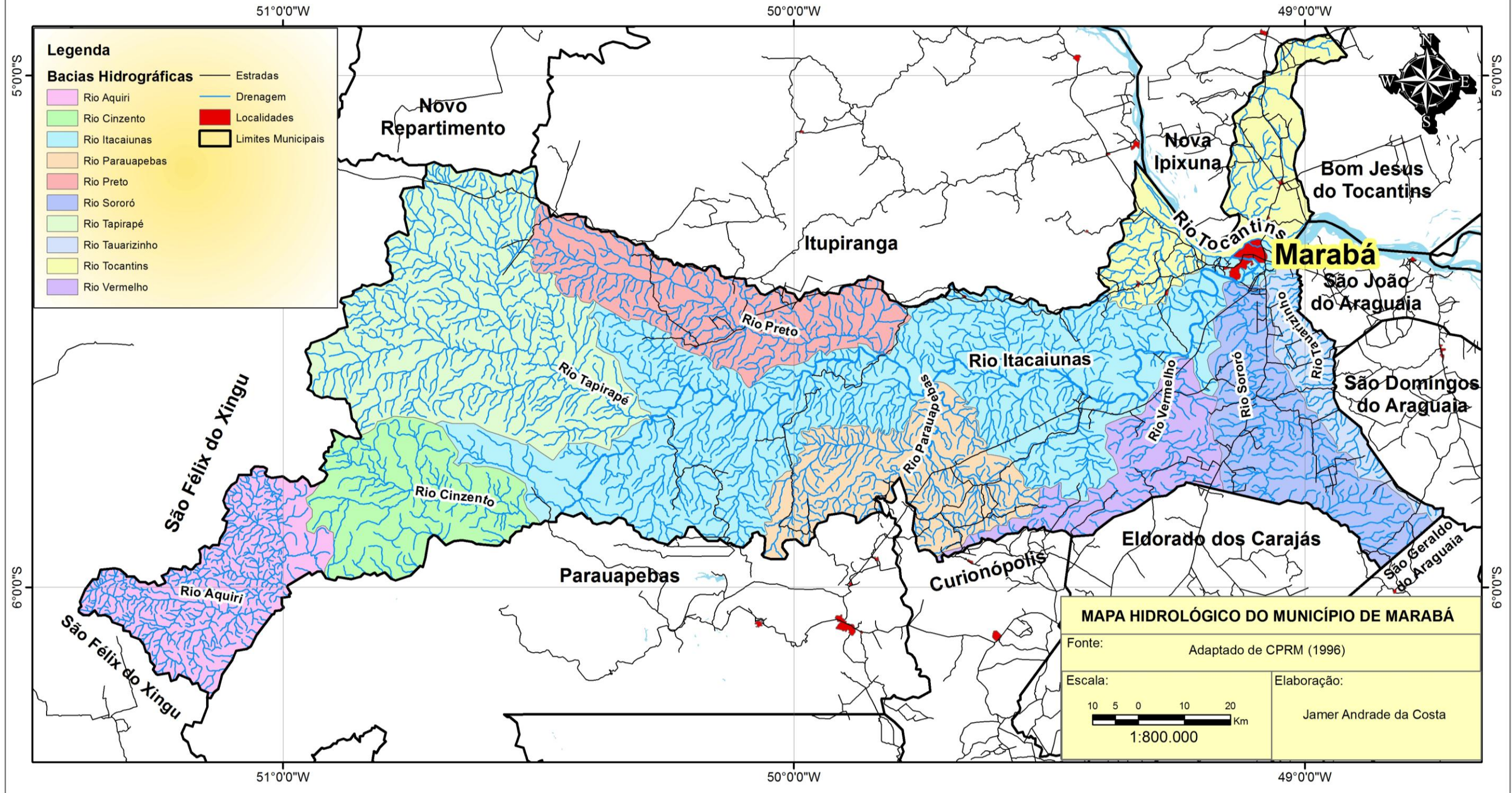


Figura 50 - Mapa hidrológico do Município de Marabá. (Fonte: CPRM, 1996)

De acordo com a resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, as bacias dos rios Pará e Guamá, localizadas adjacentes à bacia do rio Tocantins, passaram a ser incluídas a esta bacia (ANA, 2006). Na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, estão presentes os biomas Floresta Amazônica, ao norte e noroeste, e Cerrado nas demais áreas. O antropismo nesta região iniciou com a construção da rodovia Belém-Brasília, na década de 70, e posteriormente com a construção da hidrelétrica de Tucuruí e da expansão das atividades madeireiras, agropecuárias e de mineração. Atualmente, as empresas produtoras de ferro-gusa, que utilizam carvão vegetal para o aquecimento dos fornos, são apontadas como as grandes vilãs dos desmatamentos nas proximidades do Pólo Siderúrgico de Marabá, com registro de vários embargos dos órgãos ambientais, além do plantio de soja que vem ocupando extensas áreas. Com relação aos indicadores de saneamento básico, destaca-se por apresentar valores superiores às médias nacionais, onde a média regional de atendimento da população por rede de esgoto é de apenas 7,8% e, do percentual de esgoto coletado, apenas 2,4% é tratado (ANA, 2006). O Rio Tocantins nasce pela confluência dos rios das Almas e Maranhão. Os seus principais afluentes da margem direita são os rios Bagagem, Tocantinzinho, Paranã, dos Sonos, Manoel Alves Grande e Farinha, e na margem esquerda, o Rio Santa Teresa. O Rio Araguaia é o principal tributário do Rio Tocantins, possuindo 2.600 km de extensão. Após a confluência com o rio Araguaia, destaca-se o Rio Itacaiúnas. O Rio Tocantins possui uma extensão de 1.960 km até a sua foz, na Baía do Marajó, onde também deságuam os rios Pará e Guamá (MMA, 2006).

4.2.3.6. CLIMA

Segundo a classificação de Köppen, o município de Marabá encontra-se na faixa de transição de AW para Am. Com relação à temperatura, a média anual é de 26,5° C, apresentando a média máxima em torno de 31 °C e uma mínima de 22 °C. O período chuvoso é de dezembro a maio e o mais seco, de junho a novembro, estando o índice pluviométrico em torno de 2.000 mm/ano. A umidade relativa do ar é elevada, oscilando entre as estações mais chuvosas a mais seca (SANTOS, 2008).

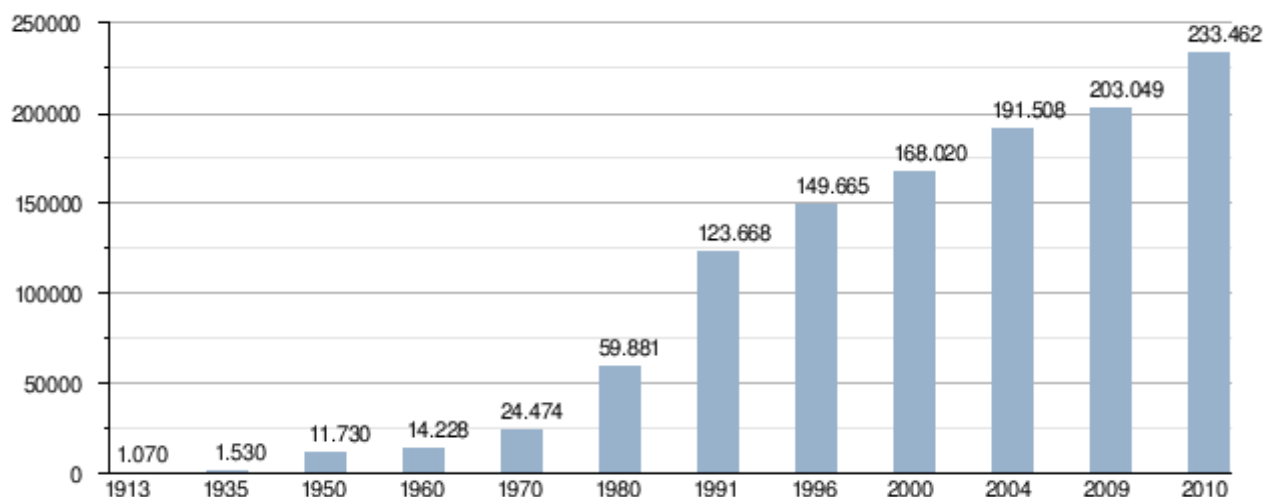


Figura 51 - Evolução do número de habitantes no município de Marabá

Fonte: Censo Populacional – IBGE (2010)

4.2.4. ENCHENTES EM MARABÁ

A cidade de Marabá, mais precisamente a região da Marabá Pioneira, é anualmente castigada pelas cheias dos rios Araguaia, Tocantins e Itacaiúnas e periodicamente acreditava-se que eram atingidas por grandes cheias que ocorrem a cada 20 anos. Entretanto, desde a década de 70, as cheias tornaram-se mais frequentes, contrariando o que a população acreditava. Os registros indicam cheias nos anos de 1906, 1910, 1926, 1957, 1968, 1974, 1978, 1979 e 1980, que normalmente ocorreram na época do inverno amazônico. Algumas cheias tornaram-se memoráveis, como a de 1957, que alcançou a cota de 14,47 metros, e a cheia de 1980, que segundo depoimentos de moradores mais antigos, foi a maior de toda a sua história. Nessa cheia, a cidade ficou praticamente toda em baixo d'água e muitas cumeeiras das casas desapareceram sob as águas. Na Estação Fazenda Alegria, situada no rio Itacaiúnas, as medições deixaram de ser colhidas na época de maior pique das águas, provavelmente por submersão da própria régua de medição (PMM, 2006).

As maiores cheias atingiram todos os municípios da microrregião, afetando, sobretudo, Marabá, deixando um saldo de mais de 50.000 desabrigados por enchente, afetando a vida de praticamente todos os moradores, como também algumas casas nos centros urbanos, situadas em regiões afastadas das áreas que normalmente sofrem com as inundações desses rios (CPRM, 1996).

O nível do Rio Tocantins, em Marabá, é medido atualmente pelo Serviço Geológico Brasileiro em parceria com a Agência Nacional de Águas e do Exército Brasileiro (Tabela 19), e de acordo com os dados históricos, teve seu nível mais elevado atingindo 17,42 metros no ano de 1980 e em comparação, na época de estiagem, teve seu nível mais baixo, atingindo a marca de 1,20 a 1,50 metros (GOMES, 2007). Em 2009, segundo a COMDEC de Marabá, o nível do rio registrou na régua fluviométrica a marcar 12,70 metros, atingindo 7.800 famílias.

A régua linimétrica de Marabá está localizada na estação 29050000, de responsabilidade da ANA e operada pela CPRM (Coordenadas 5° 20' 19" S e 49° 07' 28" W e altitude: 69,77m), (fonte: HidroWeb - ANA - 2011).

Tabela 19 - Níveis e cotas atingidas pelas cheias de 1976 a 2011.
Fonte: Hidroweb – ANA (2011).

| ANO | NÍVEL DNAEE (m) | COTAS ATINGIDAS PELAS ENCHENTES | ANO | NÍVEL DNAEE (m) | COTAS ATINGIDAS PELAS ENCHENTES |
|------|-----------------|---------------------------------|------|-----------------|---------------------------------|
| 1976 | 8,99 | 80,87 | 1994 | 12,13 | 84,01 |
| 1977 | 12,43 | 84,31 | 1995 | 11,41 | 83,29 |
| 1978 | 14,47 | 86,35 | 1996 | 9,85 | 81,73 |
| 1979 | 14,45 | 86,33 | 1997 | 14,23 | 86,11 |
| 1980 | 17,42 | 89,3 | 1998 | 9,86 | 81,74 |
| 1981 | 12,41 | 84,29 | 1999 | 9,1 | 80,98 |
| 1982 | 13,12 | 85 | 2000 | 12,58 | 84,46 |
| 1983 | 12,44 | 84,32 | 2001 | 10,57 | 82,45 |
| 1984 | 10,19 | 82,07 | 2002 | 12,56 | 84,44 |
| 1985 | 13,14 | 85,02 | 2003 | 11,3 | 83,18 |
| 1986 | 12,59 | 84,47 | 2004 | 13,5 | 85,38 |
| 1987 | 10,54 | 82,42 | 2005 | 12,05 | 83,93 |
| 1988 | 11,56 | 83,44 | 2006 | 12,28 | 84,16 |
| 1989 | 10,81 | 82,69 | 2007 | 11,56 | 83,44 |
| 1990 | 14,41 | 86,29 | 2008 | 11,6 | 83,48 |
| 1991 | 12,19 | 84,07 | 2009 | 12,7 | 84,58 |
| 1992 | 13,52 | 85,4 | 2010 | 12 | 83,88 |
| 1993 | 10,34 | 82,22 | 2011 | 12,20* | 82,84 |

* até 07/03/2011

Em 2011, a previsão para enchente em Marabá, segundo a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Marabá (COMDEC), seria de que as águas chegassem a 13 metros (84,88 metros), valor que foi estabelecido em fevereiro de 2011. A Eletronorte fez sua previsão para 12,32 m (84,20 metros), porém o rio só chegou a alcançar a cota de 12,20 (84,08 metros).

As estimativas indicavam as áreas mais afetadas como a Marabá Pioneira, Folha 33, bairros Independência, São Miguel da Conquista (Belo Horizonte); Amapá, Filadélfia, Invasão da Lucinha (Novo Planalto) e São Félix Pioneiro.

Com base em cada nível do rio, a Defesa Civil estabeleceu uma estimativa do número de famílias desalojadas, desabrigadas, ilhadas, casas fechadas e de atendimento técnico para os núcleos: Cidade Nova, Marabá Pioneira, Nova Marabá, São Félix e Geladinho para os níveis de 11, 12 e de 13 metros (84,88 metros).

Segundo o COMDEC O número total de atingidos seria de:

- Nº DE FAMÍLIAS: 4.298
- Nº DE FAMÍLIAS DESABRIGADAS: 2.814
- Nº DE FAMÍLIAS DESALOJADAS: 947
- ILHADOS: 57
- CASAS FECHADAS: 371
- FAMÍLIAS PARA ATENDIMENTO TÉCNICO: 109

A Defesa Civil fez um prognóstico com relação às estimativas de famílias atingidas para cada núcleo conforme o nível do rio alcançado pela enchente, segundo a projeção estabelecida de cheia para 13 metros (84,88 m):

| NÚCLEO CIDADE NOVA – 11 METROS | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 78 | 59 | | 49 | 8 | 194 |

| NÚCLEO CIDADE NOVA – 12 METROS | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 109 | 170 | | 78 | 11 | 368 |

| NÚCLEO CIDADE NOVA – 13 METROS | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 333 | 1.059 | | 171 | 28 | 1.591 |

ÁREAS AFETADAS:

- Independência;
- São Miguel da Conquista (Belo Horizonte);
- Amapá;
- Filadélfia;
- Invasão da Lucinha (Novo Planalto)

| NOVA MARABÁ – FOLHA 33 – 11 METROS | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 45 | 31 | | 6 | 0 | 82 |

| NOVA MARABÁ – FOLHA 33 – 12 METROS | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 75 | 110 | | 49 | 29 | 263 |

| NOVA MARABÁ – FOLHA 33 – 13 METROS | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 130 | 451 | | 59 | 0 | 640 |

Áreas Afetadas:

- **Quadras:**

02,04,05,06,11,2,13,14,15,16,17,18,19,21,22,23,24,25,27,28,29, 34,35,37 e 38

| NOVA MARABÁ FOLHA 14 – 11 METROS | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| | 7 | | 0 | 0 | 7 |

| NOVA MARABÁ FOLHA 14 – 12 METROS | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| | 34 | | 0 | 0 | 34 |

| NOVA MARABÁ FOLHA 14 – 13 METROS | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 0 | 56 | | 0 | 0 | 56 |

Áreas Afetadas:

Quadras: A, B, C, D e Rua 04 de Novembro.

- **Folha 14;**
- **Folha 25;**
- **Folha 33;**
- **Folha 06 (Vila Maurino)**

| MARABÁ CENTRO – 11 METROS | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 79 | 97 | | 45 | 25 | 246 |

| MARABÁ CENTRO – 12 METROS | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 145 | 312 | | 69 | 42 | 588 |

| MARABÁ CENTRO – 13 METROS | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 467 | 1.152 | | 119 | 78 | 1.816 |

ÁREAS AFETADAS:

- Vila do Rato;
- Santa Rita;
- Santa Rosa;
- Francisco Coelho.

| SÃO FÉLIX E GELADINHO – 11 METROS | | | | | |
|--|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |

| SÃO FÉLIX E GELADINHO – 12 METROS | | | | | |
|--|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| | 29 | 30 | 12 | | 71 |

| SÃO FÉLIX E GELADINHO – 13 METROS | | | | | |
|--|-----------------------|---------|----------------|---------------------|-------|
| FAMÍLIAS DESALOJADAS | FAMÍLIAS DESABRIGADAS | ILHADOS | CASAS FECHADAS | ATENDIMENTO TÉCNICO | TOTAL |
| 8 | 73 | 57 | 11 | 01 | 150 |

ÁREAS AFETADAS:

Avenida Estevão

Ruas: 1º de Maio, Beira Rio, Piauí e São Félix,

Travessas: Itatocan e Piauí

Existem autores, como Lima (2007), que sugerem a existência de uma verdadeira indústria denominada de “farra das enchentes” ou “indústria das enchentes”, que é um modelo similar à “indústria da seca”, presente no Nordeste brasileiro. Com o início das enchentes, as prefeituras costumam cobrar publicamente a liberação de vultosas verbas emergenciais do governo federal/estadual para prestar socorro financeiro aos municípios atingidos pelas chuvas fortes e as consequentes enchentes. A justificativa da solicitação de verba baseia-se normalmente na realização de obras urgentes e inadiáveis nas cidades afetadas pelas águas.

Porém, essas urgências anunciadas anualmente poderiam ser resolvidas se houvesse um planejamento mínimo por parte da administração pública com o intuito de solucionar os problemas previsíveis a cada enchente (Figura 52). Aqui podemos verificar que, nos últimos 35 anos de registro, apenas nos anos de 1976, 1998 e 1999 o nível não atingiu a cota de alerta (nível de 10 metros = 81,88 metros altitude).

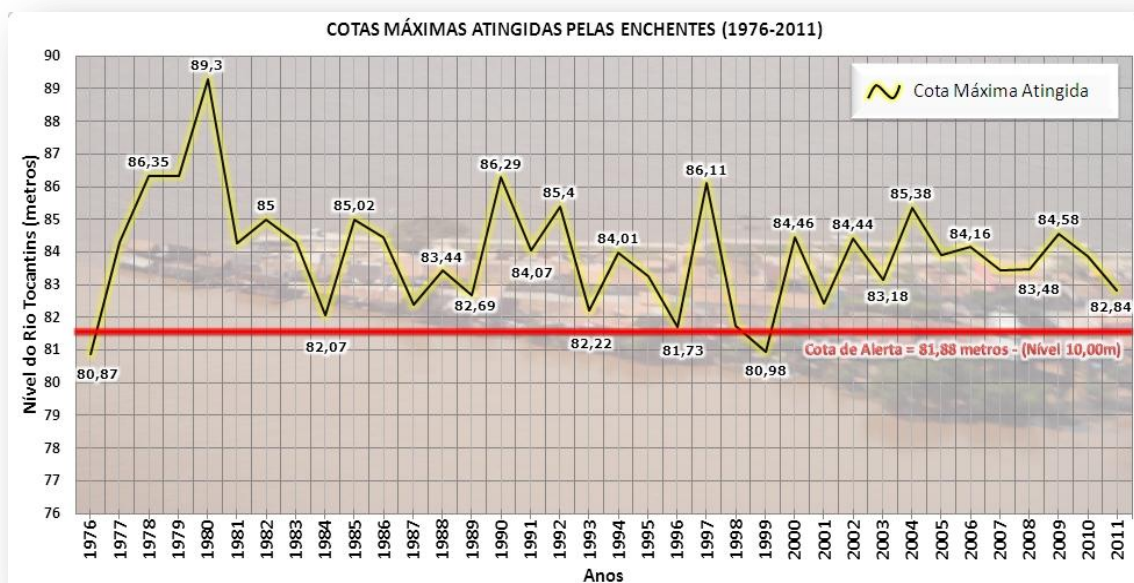


Figura 52 - Cota máximas atingidas pelas enchentes entre 1976 a 2011. (Fonte: ANA, 2011).

Em conversa com alguns moradores da Vila Rato, foi verificado que existe interesse, por parte dos que moram nesta região, em manter suas residências nessas áreas, pois as suas condições de habitabilidade são semelhantes ou até mesmo inferiores às existentes nos alojamentos (Fotografia 27), e ainda recebem benefícios do governo como cesta básica, roupas, possibilidade de sacar o

FGTS, entre outros benefícios. Por outro lado, as prefeituras também recebem ajuda financeira e vantagens quando se encontram em **situação de emergência** ou **estado de calamidade pública** (Fotografia 28 e Fotografia 29), permitindo, entre outras coisas, a facilidade de compra de bens e serviços sem o rigor das licitações e de contratação de servidores temporários.



a



B

Fotografia 27 - Fotografia da moradia localizada na Vila do Rato, na confluência dos rios Itacaiúnas com o Tocantins (a), e do alojamento improvisado dos desabrigados em 2011 (b).
(Fotos: Jamer Costa).

Segundo Lima (2007):

“E, nos limites abissais da sordidez humana, sempre haverá alguém querendo se aproveitar de situações de sofrimento coletivo, para usufruir vantagens e lucros fáceis. A contratação emergencial de obras e compras através da dispensa de licitação, como temos visto a cada tragédia anual, embute risco palpável de mau uso de recursos públicos e malversação de verbas, além de excessiva pulverização na aplicação dos recursos em medidas e obras de pouca eficácia e reduzido retorno social e ambiental. A solução para isto é o controle social a ser exercido por conselhos municipais e comitês de bacias para fiscalização eficaz do uso destes recursos...”

Em Marabá, todos os anos, devido às constantes enchentes que ocorrem periodicamente, centenas de pessoas são afetadas pelo aumento do nível do rio e têm suas casas residenciais e pontos comerciais alagados. Esse fenômeno ocorre todos os anos. Nos últimos anos, o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) passou a realizar previsões de enchentes para a cidade de Marabá, entretanto, o modelo empregado não utiliza as informações da relação de referência do nível do rio com relação à cota topográfica, tampouco avalia espacialmente as casas atingidas, em decorrência da mudança na localização das réguas que são utilizadas para aferir o nível do rio. A prefeitura e a Defesa Civil não

possuem um sistema de gerenciamento e controle eficaz de monitoramento e de prestação de assistência aos desabrigados (Fotografia 30, Fotografia 31 e Fotografia 32).



Fotografia 28 - Enchente de 1926, quando foi decretado estado de calamidade pública.
(Fonte: Fundação Casa da Cultura de Marabá, Arquivo Fotográfico de Miguel Pereira).



Fotografia 29 - Fotografia aérea da região do Cabelo Seco durante a cheia de 1997 onde o nível do rio atingiu de 14,23 m, correspondendo a cota topográfica de 86,11 metros.

(Fonte: Arquivo da Fundação Casa da Cultura de Marabá)



Fotografia 30 - Orla de Marabá em 12/04/2006.
(Fonte: Rocha, E.J.P. e Rolim, P.A. M)



Fotografia 31 - Área alagada às margens do Rio Itacaiúnas, na cidade de Marabá, em 26/03/2011. (Fonte: Jamer Costa).



Fotografia 32 - Alojamento aos desabrigados em 2010. (Fonte: Jamer Costa -27/03/2010)

4.3. A DEFESA CIVIL

As primeiras ações no mundo para a defesa da população surgiram nos países que participaram da 2ª Guerra Mundial, sendo a Inglaterra o primeiro país a demonstrar preocupação com a segurança de sua sociedade, devido aos incontáveis bombardeamentos sofridos pelos inimigos de guerra durante os anos de 1940 e 1941. Esses ataques foram responsáveis pela perda de milhares de civis, o que acabou resultando na criação da **CIVIL DEFENSE (Defesa Civil)**. Atualmente, as Defesas Civas são organizadas com apoio e participação da população e dos governos locais, em sistemas abertos que atuam em ações preventivas e de respostas às ocorrências desastrosas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2011).

No Brasil, a Defesa Civil surgiu em 1942. Após a morte de 56 pessoas com o afundamento, na costa brasileira, dos navios de passageiros Arará e Itagiba, o Governo Federal Brasileiro, preocupado com a segurança geral da população, que é um dos princípios básicos das ações de Defesa Civil, estabelece medidas tais como a criação do Serviço de Defesa Passiva Antiaérea, a obrigatoriedade do ensino da defesa passiva em todos os estabelecimentos de ensino do país, oficiais ou

particulares, entre outras. Infelizmente, essa disciplina não é mais obrigatória (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2011).

Em 1943, o governo altera a Defesa Passiva Antiaérea para Serviço de Defesa Civil, sob a supervisão da Diretoria Nacional do Serviço da Defesa Civil, do Ministério da Justiça e Negócios Interiores, extinto em 1946, bem como as Diretorias Regionais do mesmo Serviço, criadas no Estado, Territórios e no Distrito Federal.

Já em 1967, com a finalidade de assistir às populações atingidas por calamidades públicas em todo território nacional, é criado o Ministério do Interior. Em 1969, o Ministério do Interior cria o Fundo Especial para Calamidades Públicas – FUNCAP (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2011).

Em 1988, é criado o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC, em 16.12.1988, reorganizado em agosto de 1993 e atualizado por intermédio do Decreto nº 5.376, de 17.02.2005 (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2011).

Na nova estrutura do Sistema Nacional de Defesa Civil, destacam-se a criação do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD, o Grupo de Apoio a Desastres e o fortalecimento dos órgãos de Defesa Civil locais (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2011).

Em 04 de agosto de 2010 é aprovada a lei Nº 7257/2010 que faz a regulamentação da Medida Provisória nº 494, de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, sobre o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e dá outras providências. Nessa lei é definido o Conselho Nacional de Defesa Civil (CONDEC) que integra o SINDEC como órgão colegiado, de natureza consultiva, tendo como atribuição propor diretrizes para a política nacional de defesa civil. A Figura 53 indica a quantidade de representantes e os membros do CONDEC (BRASIL, 2010a).



Figura 53 - Composição do Conselho Nacional de Defesa Civil - CONDEC com os respectivos números de representantes.

A Lei Nº 12.340, de 1º de Dezembro de 2010, define o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, sobre o Fundo Especial para Calamidades Públicas, e dá outras providências. Essa lei altera as leis nº 9.077, de 1995; nº 11.775, de 2008 e revoga o Decreto-Lei nº 950, de 1969 (BRASIL, 2010b)(Figura 54).



Figura 54 - Organograma do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC).

Segundo a Política Nacional da Defesa Civil, a Defesa Civil:

[...]É um conjunto de ações de prevenção e de socorro, assistenciais e reconstrutivas, destinadas a evitar ou minimizar os desastres, preservar a integridade física e moral da população, bem como restabelecer a normalidade social (BRASIL, 2005).

A Defesa Civil é caracterizada por ser formada por toda a sociedade para a autodefesa e está fundamentada no princípio de que nenhum governo, sozinho, consegue suprir a todas as necessidades dos cidadãos. Uma sociedade bem organizada e preparada é aquela que tem mais oportunidades de sobreviver e de se recuperar mais rapidamente das catástrofes.

As ações da Defesa Civil desenvolvem-se através de 4 fases:

- **Preventiva:** Desenvolvida em períodos de normalidade, é uma fase de extrema importância, por ser o momento de elaboração de planos e de exercícios simulados, através de estudos e modelagem, destinados ao desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema de autodefesa, conforme os riscos de cada região ou município. O desenvolvimento desta dissertação, com o objetivo de elaborar um sistema de alerta de enchentes, faz parte desta fase.
- **Socorro:** As atividades desta fase atuam diretamente nos efeitos da ocorrência e são desenvolvidas com emprego de pessoal treinado por vários órgãos envolvidos e de maneira coordenada, conforme planos preestabelecidos. Esta fase é de ação imediata às ocorrências como, por exemplo, resgate de vítimas das enchentes, da extinção do incêndio, remoção de entulhos, evacuação etc.
- **Assistencial:** Esta fase ocorre concomitantemente ou logo imediatamente depois do impacto violento da emergência. Principalmente, trata-se da fase responsável em garantir abrigo, alimentação e assistência médica à população atingida.
- **Recuperativa:** A fase de recuperação é a mais cara e lenta, pois é a responsável pelas obras de reparos dos danos. Depende de investimentos públicos, com o objetivo trazer de volta a normalidade à área atingida, recuperando as condições de habitação dos comunitários. Após esta fase, fecha-se o ciclo do atendimento da emergência e inicia-se a prevenção de novos desastres.

Após as últimas tragédias que ocorreram no Brasil nos últimos anos, como as enchentes do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, e as fortes chuvas com a geração de enxurradas e deslizamento de encostas na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, o governo brasileiro decidiu criar um **Sistema Nacional de Prevenção e Alerta de Desastres Naturais** que, através da combinação de dados meteorológicos, geológicos e geofísicos, permitirá alertar as populações localizadas em áreas de risco e, com isso, minimizar as perdas causadas pelos possíveis

impactos. Em abril de 2011, o CENSIPAM recebeu o convite para integrar-se ao Sistema Nacional de Alerta e Prevenção de Desastres Naturais (SNAPDN), empregando, principalmente, o Sistema de Alerta de Enchentes para as cidades de Belém e Marabá-Pa.

A Coordenação Municipal de Defesa Civil do Município de Marabá é atualmente coordenada pelo Tenente Coronel BM Norat, pertencente ao 5º Grupamento Bombeiro Militar e está localizado na Rodovia Transamazônica Km 1 s/n.º / Cidade Nova / Marabá – Pará. CEP: 68.5000-000 (94) 3234-2100/2101. Este grupamento atua sobretudo no atendimento a vítimas das enchentes dos Rios Tocantins e Itacaiunas que ocorrem anualmente no município.

4.4. PORQUE UM SIG PARA MARABÁ

O desenvolvimento de um Sistema de Alerta de Enchente com base em um SIG tem a finalidade de auxiliar o órgão de Defesa Civil e, juntamente com os demais técnicos do executivo municipal e da sociedade, visando o melhoramento das ações integradas de prevenção, preparação, resposta e recuperação diante das enchentes.

Diante desse contexto, este trabalho vem apresentar os resultados da pesquisa realizada sobre as questões de enchentes na cidade de Marabá, na região abrangendo os bairros da Marabá Pioneira, Centro, Santa Rosa e Santa Rita (Figura 55), justamente as áreas mais vulneráveis a previsíveis enchentes anuais do Rio Tocantins, na sede do Município de Marabá/PA (RAIOL, 2010).

A escolha da cidade de Marabá ocorreu em função de, anualmente, parte da cidade permanece inundada pelas cheias dos rios Tocantins e Itacaiúnas (Figura 56). Outro importante aspecto é que o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), em parceria com outros órgãos, possui um modelo hidrológico que é utilizado para fazer os boletins de alertas com relação ao nível do Rio Tocantins para a cidade de Marabá, que prevê a cota do nível do rio com 4 dias de antecedência (Figura 57). No entanto, esse boletim não possui a informação do nível do rio espacializada, indicando as áreas a serem atingidas pela enchente na cidade de Marabá. Trata-se de uma informação fundamental para o planejamento das ações da defesa civil, que, dispondo de tais informações, poderia indicar as residências atingidas e gerar um relatório com a lista das pessoas/famílias afetadas e suas características socioeconômicas, como número de crianças, idosos, portadores de necessidades

Região da Marabá Pioneira

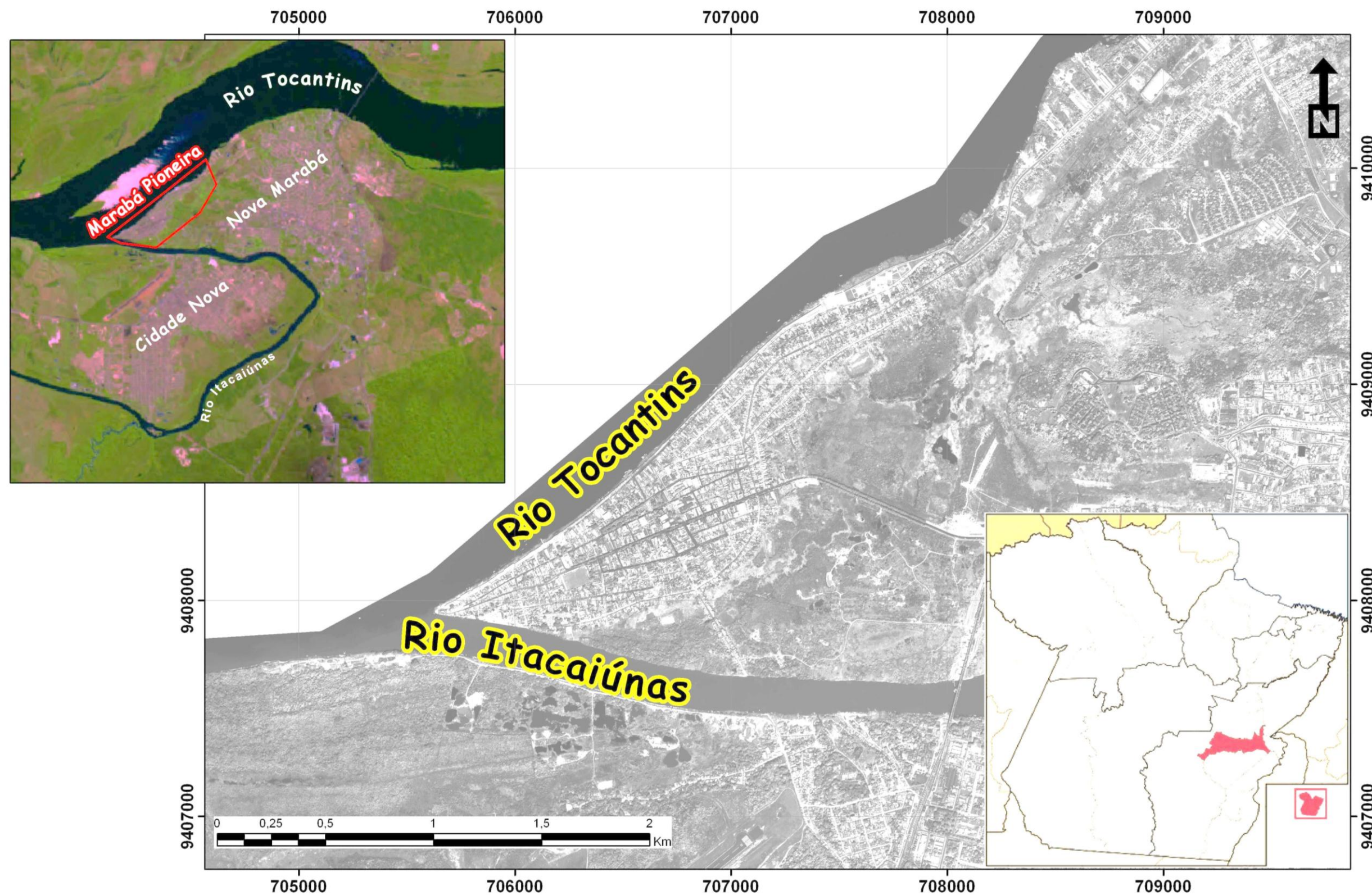


Figura 56 - Cidade de Marabá (Fonte Prefeitura Municipal de Marabá)



Figura 57 - Boletim hidrológico do SIPAM.

Com base nessa relação, é possível indicar através do modelo digital de terreno (MDT) as áreas afetadas com relação ao nível do rio e, com isso, possibilitar a geração do sistema de alerta de enchente, com o objetivo de facilitar e aperfeiçoar a tomada de decisão quanto ao enfrentamento do risco associado à ocupação dessa área quanto às enchentes.

4.5. BANCO DE DADOS

O tema (*shapefile*) lote deverá conter, na tabela de atributo, as informações sobre cada um dos lotes, tais como: área do lote, área construída, informações sobre o tipo de construção, tipo de cobertura, acabamentos, etc. Também deverá conter dados sobre os moradores, com algumas informações de natureza socioeconômica a respeito das pessoas que moram em cada lote. Adicionalmente, devem constar as seguintes informações: número de pessoas, número de homens, mulheres, crianças, idosos, doentes, pessoas com necessidades especiais, nome do responsável e telefone convencional e celular (Figura 58). As informações sobre a identificação dos lotes, dos proprietários e de seus moradores são essenciais para que o sistema utilize todo seu potencial. Cabe à Prefeitura Municipal de Marabá e/ou da Defesa Civil realizar esse levantamento. Identificamos as informações essenciais para o levantamento cadastral para a área de risco:



Figura 58 - Sugestão das Informações mínimas necessárias sobre cada um dos lotes e das famílias para o Sistema de Alerta de Enchente.

Estando essas informações inseridas no sistema, será possível estimar as casas que possivelmente serão atingidas pela enchente com quatro dias de

antecedência, e, com isso, produzir relatórios indicando as casas que serão atingidas. As informações poderão ser visualizadas na forma de tabela e mapas. Utilizando mensagens curtas de texto-SMS (Figura 59), a Defesa Civil poderá comunicar o proprietário do imóvel sobre a alerta de enchente.



Figura 59 - Modelo de alerta via SMS.

4.6. ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

O modelo hidrológico empregado no sistema de alerta de enchente é o MOD-4b, que atualmente vem sendo atualizado e utilizado no acompanhamento das enchentes em Marabá. Esse modelo mostrou ser muito eficiente até 2009, conforme exibido na Figura 60, demonstrando precisão ao acusar, neste período, uma discrepância de erro de, no máximo, 7 centímetros. A Figura 61 mostra a continuidade da diminuição do nível do rio, com as curvas em vermelho indicando a previsão e, em azul, os valores observados nas régua linimétricas.

Em 2010, contudo, as análises indicaram que o modelo não apresentou um bom resultado e foi constatado que, a partir de setembro de 2009, ocorreu um desvio do rio Tocantins decorrente das obras da usina hidroelétrica de Estreito, localizada na jusante da estação de Carolina-MA, que deixou a régua dentro da área do lago da usina. Por esse motivo, o modelo deverá ser refeito e não utilizará mais a estação de Carolina. Doravante, o sistema poderá adotar a estação de Descarreto ou de Tocantinópolis-To, que estão localizadas a jusante da barragem de Estreito e que possui uma boa série histórica, com registros desde 1955 até os dias de hoje.

Com isso, poderá ser resolvido o problema da estação de Carolina (**Erro! Fonte de eferência não encontrada.**).

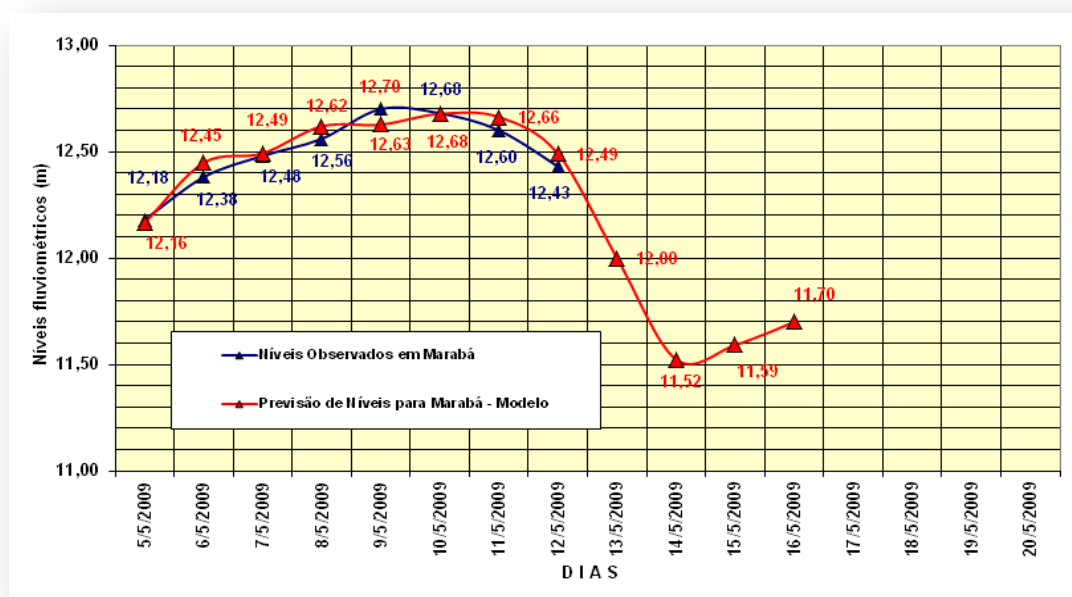


Figura 60 - Acompanhamento do modelo MOD-4b no pico da enchente, em maio de 2009.

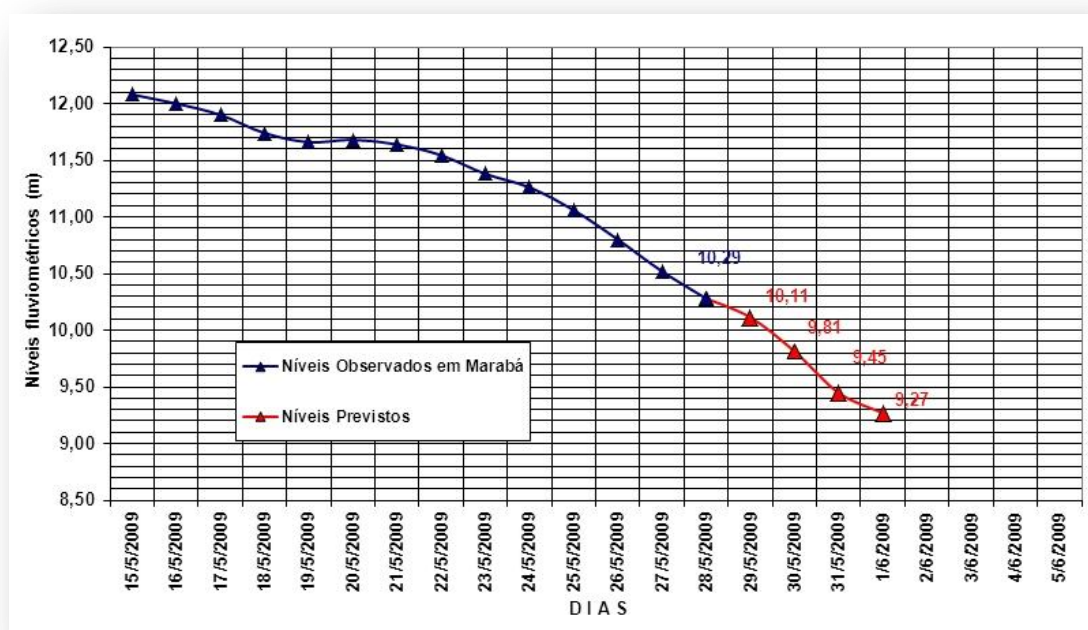


Figura 61 - Acompanhamento do modelo MOD-4b durante o período de 15/05/2009 até o dia 01/06/2009, no período em que as águas já estão descendo.



O Sistema de Alerta de Enchente Pororoca poderá ser adaptado para novos modelos de previsões e também poderá ser utilizado para outras cidades na

Amazônia que sofrem com o mesmo problema. No caso da cidade de Marabá, existem outros modelos de previsão que permitem ser facilmente implementados no sistema, com previsão de 7 dias e até mesmo de meses

As instalações de novas estações fluviométricas e pluviométricas, adensando e espalhando as amostragens, possibilitarão maior controle e melhores modelos hidrológicos.

Com a existência de Sistemas de Informações Geográficas em plataformas livres, será possível implementar essa metodologia possibilitando a disseminação desta ferramenta para prefeituras e defesas civis.

Os dados do Sistemas de Informações Hidrográficas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas, são, muitas vezes, inconsistentes e oferecem dificuldades para calibrar e/ou validar modelos hidrológicos.

Devido a extensão da bacia, que é muito grande, algumas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) estão isoladas e ficam muito tempo paradas por falta de manutenção e representam outro grande problema.

5. CONCLUSÕES

A presente dissertação permitiu concluir que o modelo hidrológico MOD-4B, incorporado e funcionando diretamente em um Sistema de Informações Geográficas, constitui uma ferramenta eficiente no desenvolvimento de Sistemas de Alerta de Enchentes, permitindo indicar espacialmente as áreas que serão atingidas com 4 dias de antecedência. Além disso, possibilita a operação em conjunto com banco de dados cadastral que apresenta informações específicas das áreas e da população a ser atingida.

Para desenvolvimento do modelo se faz necessário validar as informações topográficas presentes nas bases cartográficas disponíveis, uma vez que, havendo erro nas mesmas, haverá comprometimento dos resultados das áreas atingidas pelas enchentes.

O Sistema desenvolvido permitiu prever o aumento do nível do Rio Tocantins ao longo do ano de modo a acompanhar a evolução da cheia com antecedência de 4 dias, o que torna possível uma ação eficiente da defesa civil.

O uso do programa ArcView 3.3, customizado através da linguagem **Avenue**, que é linguagem de programação orientada a objetos, possibilitou a geração de uma interface de fácil manuseio e da incorporação do aplicativo do modelo hidrológico na forma de menus e janelas, garantindo uma operação amigável e de fácil manuseio, diferente dos modelos tradicionais que utilizam programas estatísticos complexos e não associados a mapas.

O uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que associa um banco de dados cartográfico a um banco de dados cadastral, possibilitou a previsão de enchentes na forma de relatórios e mapas, com indicação das áreas atingidas pelas cheias para os períodos de 4, 3, 2 e 1 dia de antecedência do evento de enchente.

O Sistema possibilita identificar a população, as vias públicas, os equipamentos públicos e os imóveis a serem atingidos. Essas informações possibilitam que a defesa civil execute planos de ação para enfrentamento eficiente antes da ocorrência da enchente.

O estágio atual do sistema permite que o mesmo evolua através da criação de novos aplicativos, com a utilização de software livre e de aplicativos web, além de possibilitar que as previsões de enchentes sejam informadas via celular e internet.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, MARIA TERESA VILLELA NOGUEIRA . 2006. **Recuperação de solos degradados pela agricultura**. *Infobibos*. [Online] 13 de 09 de 2006. [Citado em: 22 de 08 de 2010.]

ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2010. ANA - Agencia Nacional de Águas. *ANA - Agencia Nacional de Águas*. [Online] 05 de 09 de 2010. [Citado em: 05 de 09 de 2010.]

ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS/SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2006. **A Região Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia**. Brasília-DF.

ASPIAZÚ, CELESTINO; ALVES, LACI MOTA; VALENTE, OSVALDO FERREIRA VALENTE. 1990. **Modelos digitais de terrenos conceituação e importância**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, EMBRAPA, n. 21, p.27-36, dez. 1990. Acessado em 12/01/2011 em <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/282115>

BARP, ANA ROSA BAGANHA; LIMA, ALBERTO CARLOS DE MELO; MULLER, ELZELIS AGUIAR. 2006 . **Simulação Hidrológica Com Suporte Em Redes Neurais Artificiais**. IX Encontro de Modelagem Computacional. Belo Horizonte-MG, CEFET-MG –IPJR/UERJ (ISBN: 978-85-99836-02-6)

BBC. 2006. ONU: **Brasil terá 55 milhões vivendo em favelas até 2020**. *BBC Brasil.com*. [Online] BBC, 16 de 06 de 2006. [Citado em: 28 de 08 de 2010.] http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2006/06/060616_onu_habitat_no_vo_is.shtml.

BECKER, BERTHA K. 2001. **Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?** *Parceria Estratégicas*. 12, 2001, Vol. 6.

BOONSTRA, J. 1980. **Methods and models in surface water hydrology**. In: Land reclamation and water management, p. 85-98. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI Publication 27), Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70 26061 1. (913565F-9081). <http://content.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilri-publicaties/publicaties/Pub27/pub27.pdf>.

BURGER, D. – 1976 -**Tópicos de Manejo Florestal Ordenamento Florestal: A produção florestal** – Setor de Ciências Agrárias – Curitiba. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 155p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A., **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, England, 1998, 336p.

BRASIL. **Lei N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial do Brasil, 1997.

BRASIL. Decreto n° 7257 de 04 de agosto de 2010. **Diário Oficial do Brasil**. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7257.htm, 2010a.

BRASIL. DECRETO LEI Nº 12.340, DE 1º DE DEZEMBRO DE 2010. **Diário Oficial do Brasil**, p. 6. Retrieved from <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/lei/2010/lei-12340-1-dezembro-2010-609599-normaatualizada-pl.pdf>, 2010b.

BRASIL_2010. **LEI Nº 12.340, DE 1º DE DEZEMBRO DE 2010**. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01/dezembro/2010*.

BRASIL. Ministerio da Saude. **Mudancas climaticas e ambientais e seus efeitos na saude: cenarios e incertezas para o Brasil**. Organizacao Pan-Americana da Saude. Brasilia, ISBN 978-85-87943-79-8, 2008. 40p.

BRIVIO, P. A.; R. COLUMBO; M. MAGGI; R. TOMASONI, 2002. **Integration of Remote Sensing Data and GIS for Accurate Mapping of Floods Areas**, International Journal of Remote Sensing, Taylor & Francis, London, UK, pp. 429-441.

CÂMARA, G. MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. DE. **Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação. Geoprocessamento: Teoria e Aplicações** - Capítulo 5, v. 28, p. 83-96. Rio Claro-SP. Retrieved March 11, 2010, from <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap5-epistemologia.pdf>, 2003.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.M.; MAGALHÃES, G. C. 1996. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. UNICAMP IX Escola de Computação, 1996 (1a. ed.). SAGRES Editora, Curitiba, 1997 (2a. ed.)

CAMPOS FILHO, C. M. 1992. **Cidades Brasileiras: seu controle ou o caos**. São Paulo. Nobel 2ª edição.

CÂNDIDO, L. A., MANZI, A. O., TOTA, J., SILVA, P. R. T. DA, SILVA, F. S. M. DA, SANTOS, R. M. N. DOS, & CORREIA, F. W. S. (2007). **O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: A questão da savanização**. Ciência e Cultura - Mudanças Climáticas: Artigos. São Paulo: Ciência e Cultura (SBPC). Retrieved from http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252007000300017&script=sci_arttext&tlng=en

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CEDEC- COORDENADORIA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL DO PARÁ. 2011. Site Institucional do Defesa Civil do Pará. **Critérios para a Decretação Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública**. [Online] <http://www.defesacivil.pa.gov.br/modules/tinycontent/index.php?id=26>. Acesso em 30/01/2011.

CESTE – CONSÓRCIO ESTREITO ENERGIA /USINA HIDROÉLETRICA ESTREITO. 2011. [Online] 23 de janeiro de 2011. Link: http://www.uhe-estrito.com.br/ver_secao.php?session_id=71.

CETESB - Norma Técnica CETESB P4.261 – Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análises de Riscos. Maio 2003 122 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). "Manual (P4.261) **“Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos”** São Paulo, Maio, 2003.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 1996. **Elementos de Apoio a Gestão Municipal, Marabá (Projeto Primaz: Município de Marabá)**. Belém. CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2004. **Definição da planície de inundação da cidade de Governador Valadares**. Belo Horizonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. p. 128.

CRÓSTA, A. P. "**Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**". Campinas, SP, IG/UNICAMP, 1992. 170p

DEMARQUI , EDGAR NOGUEIRA. 2011. **Introdução Sobre Altimetria em Topografia**. [Online] 05 de março de 2011. Universidade do Estado do Mato Grosso / Campus Universitário de Sinop/ Departamento de Engenharia Civil. Topografia II – Aula 2. Link: http://www.unemat-net.br/prof/foto_p_downloads/topo_aula2.pdf.

DONZIER, J.-F. **Organizar a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos por bacia. RIOB - Rede Internacional de Organismos de Bacia - 2o Symposium - Expériences dans la Gestion para bassin des cours d' eau**. Retrieved October 20, 2011, from http://www.riob.org/IMG/pdf/PPT_DONZIER_BRASIL_RIO_SEPT_2011-_PORT_-_FINAL_V2_-_Completo-_FINAL_-_SESSION2.pdf, 2010.

DIAS, JOSÉ EDUARDO, GOMES, OLGA VENIMAR DE OLIVEIRA E GOES, MARIA HILDE DE BARROS. 2003. **Áreas de Riscos de Enchentes no Município de Volta Redonda: uma Aplicação por Geoprocessamento. Caminhos de Geografia - REVISTA ON LINE**. [Online] UFU - Instituto de Geografia, Setembro de 2003. [Citado em: 10 de Agosto de 2010.] www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html. ISSN 1678-6343.

DINIZ, NORIZ COSTA. 2011. **Cartografia Geotécnica de Aptidão à Urbanização**. Apresentação no 3º Seminário Nacional de Prevenção de desastres naturais em áreas urbanas. Ministério das Cidades / Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica, 21 a 22 de novembro de 2011. Salvador-Ba.

DOOGE, J. C. I. **Linear theory of hydrologic systems**. Technical Bulletin, n. 1468. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington DC, 1973. 327 p.

EHRlich, PAUL RALPH. 1968. **The Population Bomb**. 1ª Edição. Cuthogue : Sierra Club/Ballantine Books, 1968. p. 201.

EIRD, 2004. Disponível em: <www.eird.org/tolkit/esp/guiainstructiva.pdf>. Acesso em: 02/06/2008..

EM-DAT **The Emergency Disasters Data Base**. The Office of US Foreign Disaster Assistance (OFDA)/ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) – Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/> Database. Acesso em 13 junho de 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. 2007. **Relatório P2 – Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e seus Formadores / Avaliação Ambiental Integrada (AAI) da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e seus formadores**. Revisão A. CNEC/ARCADIS/TETRAPLAN Março/2007. Acesso 01/07/2010: http://www.4shared.com/file/50370798/f7f80751/Produto_3_AAD_Sumario_Executivo.html.

ENEAS DE CASTRO, S. D **Riesgos y peligros: una visión desde la geografía**. *Scripta Nova : Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona, n. 60. Disponível em: < <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>>. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

FEARNSIDE, PHILIP MARTIN. 2005. Megadiversidade 1(4). **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências**. [Online] 2005.

FEARNSIDE, PHILIP MARTIN. 2006. **Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) Manaus-Amazônia, Vol. 36(3), p.395 ? 400, 2006.

FELGUEIRAS, CARLOS ALBERTO. 2000. **Modelagem Numérica de Terreno**. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. Acesso em 14/04/2010. Introdução à Ciência da Geoinformação. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>.

FIGUEROA, S. N. ; NOBRE, C. A. 1990 . **Precipitation distribution over central and western tropical South America**. *Climanálise* (São José dos Campos), v. 5, n. 6, p. 36-45, 1990.

FISCH, G., MARENGO, J. A., & NOBRE, C. (2010). **Clima da Amazônia**. Boletim de Monitoramento e Análise Climática - Edição Especial Comemorativa de 10 Anos. CLIMANÁLISE - Volume 25, No 10, Outubro. Retrieved August 15, 2011, from <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>

FLORENZANO, T. G.; S. A.. F. PINTO; M. VALÉRIO FILHO; E. M. L. M. NOVO; H. J. KUX. 1988. **Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento de áreas submetidas à inundação na Bacia do Rio Parnaíba**, INPE, São José dos Campos, (INPE-4570-RPE/566).

FREAD, D. L. (1992) **“Flow Routing”**. In: Maidment, D. R. Handbook of Hydrology. McGraw Hill, U.S.A.

GIODA, A. **Problemas ambientais: Temos consciência da influência dos mesmos em nossa vida?**. Site ONG Terra Brasil, http://www.terrabrasil.org.br/noticias/materias/pnt_problemasamb.htm, 2002.

GOODCHILD, M. F., **The state of GIS for environmental problem-solving**. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T. (eds.), Environmental Modeling with GIS. Oxford University Press, New York, 1993, 8-15 p.

GOMES, FÁBIO ROGÉRIO RODRIGUES. 2007. **Cartografia linguística e educação na Amazônia: um estudo semântico-lexical da fala na/da microrregião Marabá/Pará /**. Centro de Ciências Sociais e Educação. Universidade

do Estado do Pará. Belém-Pará: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO, 2007 – Dissertação (Mestrado em Educação).

GRIMM, ALICE MARLENE; SILVA, P. F. Z. O. ; MARENGO, J. . **Sinais de El Niño na precipitação da Amazônia.** In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, 1998, Brasília. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET. Brasília, DF : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. em CD.

GUERRA, ANTONIO JOSÉ TEIXEIRA E CUNHA, SANDRA BAPTISTA DA. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos, Organização** – 2ª ed.- Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, 472 p.

GUERRA, A. J. T. **A contribuição da geomorfologia no estudo dos recursos hídricos.** BAHIA: ANÁLISE e DADOS, v. 13, n. Especial, p. 385-389. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd17/cogeomorf.pdf>, 2003.

HOBSBAWM, E. J. **Era das Revoluções – 1789/1848.** v. 1, p.535. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Populacional 2010.** (01 de fevereiro de 2011). Página visitada em 01 de fevereiro de 2011. Link: <http://www.ibge.gov.br/>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1998. **Noções básicas de cartografia.** (l. de F. T. Silva, A. L. B. de Freitas, W. G. Magalhães, M. J. de C. Augusto, & M. A. de Oliveira, Eds.) (Vol. 1, p. 127). Rio de Janeiro (RJ): Diretoria de Geociências - DGC.

JPL-Jet Propulsion Laboratory da NASA (National Aeronautics and Space Administration). [Online] 02 de março de 2011. Link: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, acessado em 02 de março de 2011.

JUNIOR, M. J.; VARANDA, L. C. **O mundo dos colóides.** Revista Química Nova na Escola - Química e Sociedade. Acessada em 12 de Setembro de 2011, de <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc09/quimsoc.pdf>, 1999.

LEAN, J.; BUNTON, C.B.; NOBRE, C.A.; ROWNTREE, R.L. **The simulation of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics.** In GASH, J.H.C. et al. Amazonian Deforestation and Climate. Chichester (England): John Wiley & Sons Ltd., 611 p, 1996.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba, São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ, 1986. 242p.

LIMA, W. DE P. 2008. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** 2nd ed., v. 1, p.245. Piracicaba - São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Departamento de Ciências Florestais - Universidade de São Paulo. Retrieved from <http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>.

LIMA, SÉRGIO RICARDO DE. 2007. **Tragédia de verão anunciada: a farra da enchentes e a indústria do estado de emergência. Blog SRZD – Meio Ambiente**, Publicada em 17/01/2007, **link** <http://www.sidneyrezende.com/noticia/@-2147>, ONLINE em 17 de fevereiro de 2011.

LLOSA, SILVIA. 2008. **Palestra: Aumentando a capacidade de resistência das comunidades à mudança climática. Estratégia Internacional para Redução de Desastres (Eird)**. [documento ppt (Tipo de Mime: application/vnd.ms-powerpoint)] [prod.] Defesa Civil de Santa Catarina. Florianópolis, SC, Brasil : s.n., 03. de 09 de 2008. 3.8 MB.

MAGAZINE BLOGGER THEME, LK. **Escoamentos Subterrâneos e Águas Subterrâneas**. . Retrieved August 28, 2011, from http://testenepal.blogspot.com/2011/06/escoamentos-subterraneos-e-aguas_07.html, 2011.

MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & sociedade**, v. 7, n. 2, p. 95-110. DOI: 10.1590/S1414-753X2004000200006, 2004.

MARCELINO, E. V. 2003. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG**. São José dos Campos. 218p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MARTINELLO, PEDRO ANTÔNIO. 2004. **A batalha da borracha**. Rio Branco: ADUFAC, 2004. p. 26.

MARTINS SOUZA FILHO, P. W. M. E S. PARADELLA, W. R. SOUZA JÚNIOR, C. VALERIANO, D. DE M.; MIRANDA, F. P. DE. **Sensoriamento remoto e recursos naturais da amazônia**. Ciência e Cultura, v. 58, n. 3, p. 37-41. São Paulo-SP. Retrieved September 17, 2011, from http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252006000300016&script=sci_arttext, 2006.

MATEUS, ANTÔNIO. 2009. **Desastres Naturais: Minimizar os riscos, maximizar a consciencialização**. *GeoFCUL. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*. [Online] 14 de Agosto de 2009. [Citado em: 20 de Agosto de 2009.] <http://geologia.fc.ul.pt/documents/86.pdf>.

MCBEAN, G. 2004. **Climate change and extreme weather: a basis for action. Natural Hazards**. 31, 2004, pp. 177-190.

MEDEIROS, Júlia de - **Marabá: 2010. As 20 Metrôpoles Brasileiras do Futuro**. Revista Veja. Edição 2180 de 01 de Setembro de 2010.

MENDES, CARLOS ANDRÉ BULHÕES E CIRILO, JOSÉ ALMIR. 2001. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicações**. Porto Alegre : ABRH, 2001. ISBN 85-88686-03-1.

MENESCAL, ROGÉRIO DE ABREU, FIGUEIREDO, NELSON NEIVA E FRANCO, SILVIA RODRIGUES. 2009. **A Problemática das Enchentes na Região Metropolitana de Fortaleza**. *Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH*. [Online] 20 de Agosto de 2009. [Citado em: 20 de Agosto de 2009.]

http://www.cogerh.com.br/versao3/pdf_zip_docs/a%20problematica%20das%20enchentes.pdf

MINISTÉRIO DO INTERIOR, SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA, PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, & ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. (1980). **Aplicação de modelos estatísticos na Bacia do Rio Tocantins** (Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia., Vol. Publicação, p. 125). Belém-Pa.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. (2011). **Defesa Civil no Mundo e no Brasil**. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Acessado em 12/02/2011, em <http://www.defesacivil.gov.br/historico/index.asp>

MINISTÉRIO DO INTERIOR; SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA (MI). 1980. **Aplicação de modelos estatísticos na Bacia do Rio Tocantins**. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento; Organização Meteorológica Mundial-OMM. Publicação Nº 28, p.125. Belém-Pa, 1980.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/ SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. 2006. **Programa de Estruturação Institucional para a Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos** – Bra/Oea/01/002 – Caderno Regional da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Brasília-DF.

MOLION, LUIS CARLOS BALDICERO, 2006. **Variabilidade e forçantes climáticas**, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, 27 a 4 de dezembro, Florianópolis (SC).

MOLION, LUIS CARLOS BALDICERO, 2010. **Variabilidade e alterações climáticas**. In: TOMAS DE FIGUEIREDO, LUIS FRÖLEN RIBEIRO, ANTONIO CASTRO RIBEIRO LUIS FILIPE FERNANDES. (Org.). **Clima e Recursos Naturais**. 1ª Ed. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança, 2010, v. 1, p. 17-41.

MOLION, L.C.B. **A climatology study of the energy and moisture of the Amazonas basin with considerations desforestation effect**. São José dos Campos, São Paulo, 1976, p.140

MONICO, J. F. G. 1998. **Posicionamento Pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. Publicação Interna. UNESP - FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA-FCT, Campus de Presidente Prudente, Departamento de Cartografia, 182 pp.

MORAN, EMILIO F. **A ecologia humana das populações da Amazônia**. Petrópolis (RJ): Vozes, 1990.

NEVES, EDUARDO GÓES. 2006. **Arqueologia da Amazônia**. Rio de Janeiro : Jorge Zahar, 2006. 86 paginas. ISBN 85-71100919-2.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. **Amazonian Deforestation and Regional Climate Change**. Journal of Climate 1991 4: 957-988,1991.

NOBRE, C. A., SAMPAIO, G., & SALAZAR, L. F. (2007). **Mudanças Climáticas e Amazônia**. Ciência e Cultura - Mudanças Climáticas: Artigos. São Paulo: Ciência e

Cultura (SBPC). Retrieved from http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/publicacoes/publicacoes_portugues/mc_amazonia.pdf

NATIONS, U. (2010). *WORLD POPULATION IN 2300*. New York.

OBERMEYER, NANCY J. & PINTO, JEFFREY K. (1994). *Managing Geographic Information Systems*. New York: Editora Guilford Press. ISBN0898620058 (Pub ID: 103-111-788) xiii, 2226p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU, 2008. **"World Population Prospects: The 2008 Revision"**. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. June. 2009.

PAIVA, I. M. R.; SILVA, D. S. E. 2006. RISCO DE CHEIA, VULNERABILIDADE E VIAS DE MITIGAÇÃO. O BAIXO MONDEGO E AS CHEIAS DE 2000/01 ENQUANTO CASO DE ESTUDO. **V Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água**. Faro - Portugal, 2006 (in collaboration with D. Sousa e Silva).

PIMENTEL DA SILVA, L. e EWEN, J., 2000, **"Modelagem hidrológica de grandes bacias hidrográficas: a necessidade de novas metodologias"**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n. 4, pp. 81-92.

PINTO, E. DE P. P., MOUTINHO, P., RODRIGUES, L., FRANÇA, F. G. O., MOREIRA, P. F., & DIETZSCH, L. (2010). **Perguntas e respostas sobre aquecimento global**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM (5th ed., p. 65). Belém, Pará, Brasil. Retrieved from <http://www.ipam.org.br/biblioteca/livro/Perguntas-e-respostas-sobre-Aquecimento-Global/572>

PINTO, LUIZA HELENA; PINHEIRO, SÉRGIO AVELINO - FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2006. **Orientações básicas para drenagem urbana** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. — Belo Horizonte: FEAM, 2006. 32p.; il.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - PMPA. 2011[Online] 02 de Novembro de 2011 [Citado em: 02/11/2010.] http://www2.portoalegre.rs.gov.br/codec/default.php?p_secao=63

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARABÁ-PMM. 2006. **Diagnóstico do Plano Diretor de Marabá. p.101. Marabá.**

PROJETO RADAMBRASIL. 1974. **Folha SB 22 Araguaia e parte da Folha SC. 22 Tocantins; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro : s.n., 1974. Levantamento de Recursos Naturais. Volume 4.

PROUS, ANDRÉ. **Arqueologia brasileira**, Brasília: EdUnB, 1992.

PULLAR, D.; SPRINGER, D. **Towards integrating GIS and catchment models**. Environmental Modelling and Software, v. 15, p. 451-459. Retrieved from <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Disciplinas/GeotecnologiaAplicada/paper07.pdf>, 2000.

RAIOL, J. DE A. **Perspectivas para o meio ambiente urbano: GEO Marabá.** (PNUMA, Ed.). 1st ed., v. 1, p.136. Belém, Pará, Brasil: ONU/HABITAT - IBAM - ISER, 2010.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V.- 2000. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental.** MCT/INPE, Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas. São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 60 p.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. 2007. **Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica.** (M. S. P. Meirelles, G. Camara, & C. M. de Alemida, Eds.) (1st ed., Vol. 11, pp. 529-556). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica - Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais. Retrieved from http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf

REVISTA VER-O-PARÁ. 2002. nº 07/1995, Listel 2001/2002, Barsa 2000, e Guia 8º BECnst 2002.

RIBEIRO NETO, ALFREDO. 2006. **Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2006. p. 178. Tese de D.Sc. em Engenharia Civil.

ROCHA, Edson José Paulino da . **Seca na Amazônia : Caso 2005.** Beira do Rio, UFPA, v. 39, p. 1 - 5, 28 abr. 2006.

ROSENQVIST, A.; C. M. BIRKETT, 2002. **Evaluation of JERS-1 SAR mosaics for Hydrological Applications in the Congo River Basin,** International Journal of Remote Sensing, Taylor & Francis, London, UK, pp. 1283-1302.

SANTOS, DANIEL MENINEA – 2008 – **Análise de modelagem hidrometeorológica na bacia do rio Tocantins em Marabá-Pa.** Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 118 f.: il

SANTOS, ROZELY FERREIRA DOS. 2007. **Vulnerabilidade Ambiental - Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** (2nd ed., Vol. 1, p. 192). Brasília-DF: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. ISBN 978-85-7738-080-0.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. 2007. **Aplicação do modelo hidrológico AÇUMOD baseado em SIG para a gestão de recursos hídricos do rio Pirapama, Pernambuco, Brasil.** Ambi-Agua, Taubaté, v. 2, nº. 2, p. 7-20, 2007.

SIMÕES, M. G. 1993. **Modeladores digitais de terreno em sistemas de informação geográfica.** Dados. Dissertação de Mestrado. COPPE - UFRJ.

SILVA, V. D. A. AMORIM, R. R. SANTOS, M. C. F. FILHO, A. P.; MOREAU, M. S. A **Utilização de técnicas de geoprocessamento para modelagem de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do rio colônia no litoral sul da Bahia (Brasil).** Actas do VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-americano de Geografia Física, v. 1, p. 1-13. Coimbra. Retrieved June 25, 2011, from <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema4/vinicius>, 2010, May.

SILVA, A. B. 1999. **Sistemas de Informações Georeferenciadas: conceitos e fundamentos**, Unicamp, Campinas, 236 páginas, (Coleção Livro-Texto).

SILVA, ANA PAULA MONI. 2006. **Elaboração de manchas de inundação para o município de Itajubá, utilizando sig.** Orientador: Alexandre Augusto Barbosa. Universidade Federal de Itajuba – Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Itajuba. 105 p.

SILVA, ARÃO MARQUES DA, 2010. **Amazônia oriental: e a criação do burgo agrícola do itacaiúnas (atual cidade de marabá)**. publicado 1/02/2010 por Arão Marques da Silva em <http://www.webartigos.com/articles/31986/1/AMAZONIA-ORIENTAL-E-A-CRIACAO-DO-BURGO-AGRICOLA-DO-ITACAIUNAS-ATUAL-CIDADE-DE-MARABA/pagina1.html#ixzz1PaptOe9H>

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. 2005. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SIPPEL, S.; S. K. HAMILTON; J. M. MELACK; E. M. METTS, 1998. **Passive Microwave Observations of Inundations Area and Area/Stage Relation in the Amazon River Floodplain**, International Journal of Remote Sensing, Taylor & Francis, London, UK, pp. 3055-3074.

TOMINAGA, LÍDIA KEIKO; SANTORO, JAIR; AMARAL, ROSANGELA DO (Organizadores). 2009. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo : Instituto Geológico. 1ª Ed. 196 p. (ISBN 978-85-87235-09-1) - CDD 363.7.

THOURET, J C. 2007. **Avaliação, Prevenção e gestão dos riscos naturais nas cidades da América Latina**. In: VEYRET, Y (org.). 2007. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007 p. 83-112.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; BRAGA, B.; SILVEIRA, A., 1989. **Avaliação do Impacto da urbanização nas cheias urbanas**, RBE Caderno de Recursos Hídricos V7 N.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; (org.), (1993). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Ed. da UFRGS, ABRH, EDUSP.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; 2003. **Águas urbanas**. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (Org.) Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, cap.2, p.11-44.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; 2004. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. Rega, Santiago, v. 1, n. 1, 2004.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da UFRGS ABRH 678p, 2005.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; ALLASIA, D. 2006^a. **Relatório Final Relatório Final Base conceitual e termos de referência para elaboração e funcionamento do sistema de prognóstico hidroclimático**. p.74. Brasília-DF.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; 2006b. **Gestão de águas pluviais urbanas - Saneamento para Todos** (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ed.). 1ª ed., Volume 4º, p.149. Brasília-DF: Ministério das Cidades.

UNITED NATIONS. 1949. **Base maps for world needs**. Lake Success, New York, United Nations Department of Social Affairs. [Addresses the needs for map production for rebuilding post WWII Society and for alleviating poverty]

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA. 2006. **Plano Diretor de Marabá**. Prefeitura de Marabá/UFPA : UFPA, 2006.

VALENCIO, NORMA; SIENA, MARIANA; VICTOR, MARCHEZINI; GONÇALVES, JULIANO COSTA. 2009. **Sociologia dos desastres – construção, interfaces e perspectivas no Brasil** / organizado por Norma Valencio, Mariana Siena, Victor Marchezini e Juliano Costa Gonçalves – São Carlos : RiMa Editora, 2009. 280 p. ISBN – 978-85-7656-165-1.

VENDRUSCOLO, SIMONE. 2007. **Interfaces entre a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Defesa Civil, com relação aos Desastres Hidrológicos**. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis – SC : PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL, 2007. p. 127, Dissertação de Mestrado.

VIANNA, A. P. P. 2000. **Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica associadas a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de áreas inundáveis. Estudo de caso: Município de Itajubá – MG**. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG –Belo Horizonte. 107 p.

VÖRÖSMARTY, C.J., MOORE, B., GRACE, A.L. et al., 1989, “**Continental scale models of water balance and fluvial transport: an application to South America**”. Global biogeochemical cycles, v. 3, n. 3, pp. 241-265.

WEITZEI, L. , LUZ, D. C., SOUZA, G. et al. 2007a. **SIGMA – Sistema de Informação Geográfica de Marabá: estudo de caso de Marabá Pioneira**. Santarém : SIGE 2007, 2007. IV Semana de Informática, II Semana de Geotecnologias e I Escola de Software Livre. pp. 96-104.

WEITZEL, L. ., LUZ, D. C., SOUZA, G., TEIXEIRA, R. F. 2007b. **Modelagem de um banco de dados geográfico para monitoramento e análise de informações georeferenciadas: estudo de caso do município de Marabá, PA** In: X ENCONTRO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2007, NOVA FRIBURGO. **X EMC**. [<http://www.iprj.uerj.br/xemc>]

WEITZEI, L. , LUZ, D. C., SOUZA, G. et al. 2008. **Integração de dados espaciais e dados econômicos para o gerenciamento de áreas de risco**. 2008.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. 1ª ed., p.477. São Paulo: CETESB, 1978.

WMO. 1992. **The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. 26-31 January 1992. Dublin, Ireland.

ZHANG, L. DAWES, W. R.; WALKER, G. R. 1999. **Predicting the effect of vegetation changes on**. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, v. TECHNICAL, n. November 1999, p. 35, 1999.

WHITE, G. F. (ed.) **Natural hazards: local, national, global**. New York: Oxford University Press, 1974a. 288p.