



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO

DOUTORADO EM GEOGRAFIA

Área de Concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental

Linha de Pesquisa: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Autor: Aloysio Rodrigues de Sousa

Análise das Inundações a partir de Atributos Hidro – Climatológicos e Ambientais na Bacia Hidrográfica do rio do Peixe – PB

Orientadora – Prof^a Dr^a Vlândia Pinto Vidal de Oliveira

Fortaleza – Ceará

Junho / 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM GEOGRAFIA

Área de Concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental

Linha de Pesquisa: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido

Autor: Aloysio Rodrigues de Sousa

Análise das Inundações a partir de Atributos Hidro – Climatológicos e Ambientais na Bacia Hidrográfica do rio do Peixe – PB

Orientadora : Profª Drª Vlândia Pinto Vidal de Oliveira

Examinadores :

Profª Drª Vlândia Pinto Vidal de Oliveira- UFC

Profª Drª Maria Eliza Zanella – UFC

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva - UFC

Profª. Drª Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa - UFCG

Prof. Dr. Marcelo Henrique de Melo Brandão - UFCG

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S696a Sousa, Aloysio Rodrigues de.
Análise das Inundações a partir de Atributos Hidro – Climatológicos e Ambientais na Bacia Hidrográfica do rio do Peixe – PB / Aloysio Rodrigues de Sousa. – 2013.
158 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2013.
Orientação: Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

1. Bacia hidrográfica. 2. Morfometria. 3. Impactos ambientais. I. Título.

CDD 910

ALOYSIO RODRIGUES DE SOUSA

Análise das Inundações a partir de Atributos Hidro – Climatológicos e Ambientais na Bacia
Hidrográfica do rio do Peixe – PB

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para a obtenção do grau de Doutor em Geografia. Área
de concentração Dinâmica Territorial e Ambiental.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a Vlândia Pinto Vidal de Oliveira – Orientadora – UFC

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva - UFC

Prof^a Dr^a Maria Eliza Zanella – UFC

Prof^a. Dr^a Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa – UFCG

Prof. Dr. Marcelo Henrique de Melo Brandão - UFCG

Cavalgando três dias e três noites ele chegou ao lugar, mas decidiu que ao lugar não se podia chegar.

Parou, pois, para pensar.

Este deve ser o lugar. Se cheguei a ele, então não tenho importância.

Ou pode não ser este o lugar. Não há, pois, importância, mas eu próprio não sou diminuído.

Ou pode ser este o lugar. Mas talvez eu não tenha chegado a ele. Posso ter estado sempre aqui.

Ou ninguém está aqui, e eu simplesmente sou do lugar e nele estou. E ninguém pode chegar a ele.

Talvez este não seja o lugar. Eu tenho, pois, um propósito, sou importante, mas não cheguei a ele.

Mas este deve ser o lugar. E como não posso chegar a ele, eu não sou, não estou aqui, aqui não é aqui.

Após cavalgar três dias e três noites ele não chegou ao lugar, e tornou a afastar-se cavalgando.

Dar-se-ia que o lugar não o conhecesse, ou não o encontrasse? Não era ele capaz?

Na história só se diz que se deve chegar ao lugar.

Cavalgando três dias e três noites ele chegou ao lugar, mas decidiu que ao lugar não se podia chegar. (Bloom, 2002, p.207).

A minha mãe Ivonete Trajano de Sousa

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio do Peixe, uma sub bacia do rio Alto Piranhas, com uma dimensão de 3.443 Km² que congrega 18 municípios, no seu baixo curso sofre o fenômeno das inundações quando no período chuvoso, inundando parte das cidades de São João do rio do Peixe, Sousa e Aparecida. Essa pesquisa busca o entendimento do fenômeno pelas relações do arcabouço físico com os estudos geomorfológicos da forma da bacia e de índices que estão relacionados às leis da geomorfologia fluvial, como também com as inter-relações existentes entre o substrato físico e as precipitações, através das interações entre a bacia hidrográfica e os sistemas atmosféricos em escalas sinótica, regional e local. A utilização de software de geoprocessamento para a coleta, modelização e análises dos dados foi fundamental para os objetivos deste trabalho. A modelagem dos mapas com utilização dos softwares Gvsig, Arc Giz, Hydroflow possibilitou alcançar os objetivos vinculados a Hidrologia e Climatologia. Os resultados encontrados mostram índices **Kc**, **Kf** e **Ic**, respectivamente 1,77; 0,19 e 0,31 que afirma ser a bacia não propensa a inundações, o que demonstra que outras variáveis causadoras das inundações estão aí presentes. Os resultados das observações climatológicas mostram que os sistemas atmosféricos atuantes no evento analisado para o ano de 2008, que a ZCIT conjugado com outros sistemas em escala regional, um Vórtice Ciclônico de Nível Superior - VCAN ou com uma Linha de Instabilidade são responsáveis pelas precipitações acima da climatologia da área. Para o ano padrão chuvoso (2008) a ZCIT foi o principal sistema atmosférico, seguido dos VCANS e DOLs, que acoplado ao Dipolo Negativo, um ENOS de episódio de La Niña totalizando apenas de janeiro a maio precipitações acima da climatologia anual. As análises referentes a vegetação feito por NDVI - Índice de Vegetação Normalizada mostra que houve redução considerável no São João do rio do Peixe e em outras áreas da bacia, entretanto há de se considerar que houve recuperação em outras áreas principalmente nas serras, o que permite afirmar que as inundações podem se relacionar com agressões da retirada da vegetação na área de São João do rio do Peixe, notadamente com a retirada da mata ciliar. A ocupação do solo urbano das cidades de São João do rio do Peixe e Sousa demonstra que as inundações estão relacionadas com a ocupação da calha do rio e bem como com as intervenções na drenagem, por pequenas barragens, barramentos no leito do rio próximo a cidade, dificultam o escoamento de um volume maior quando dos eventos supracitados.

PALAVRAS CHAVE: BACIA HIDROGRÁFICA; INUNDAÇÕES; SISTEMAS ATMOSFÉRICOS; MORFOMETRIA. IMPACTOS AMBIENTAIS

ABSTRACT

The river basin of the Peixe, a sub basin of the Alto Piranhas, with a dimension of 3. 443 km² which gathers 18 municipalities in its lower course, suffers the phenomenon of flooding during the rainy season, causing the flooding of the cities of São João do Rio do Peixe, Sousa, and Aparecida. This research aims to understanding the phenomenon from the relationships of the physical framework and geomorphological studies of a basin shape and the indices that are related to the laws of fluvial geomorphology, as well as the interrelationships between the physical substrate and precipitation through the interactions between watershed and atmospheric systems at synoptic, regional and local scales. The use of GIS software for the collection, modeling and analysis of the data was essential for the objectives of this work. The modeling of the maps using the gvSIG software, Arc GIS, Hidroflow make it possible to achieve the objectives linked to Hydrology and Climatology. The results shows the indices Kc, Kf and Ic, of 1.77, 0.19 and 0.31 respectively which states that the basin is not prone for flooding showing that other variables that causes flooding are present there. The results of observations shows that the climatological atmospheric systems operating in the analyzed event for the year 2008, the ITCZ in conjunction with other systems on a regional scale, one Vortex Cyclonic Higher Level - VCAN or a Squall lines are responsible for the precipitation above climatology of the area. For the rainy pattern of the year (2008) the ITCZ was the main atmospheric system, followed by VCANS DOLs and that coupled with the negative dipole, an ENSO episode of La Niña totaling only from January to May a precipitation above annual climatology. The analysis made by referring to the vegetation NDVI - Normalized Vegetation Index shows that there was considerable reduction in the São João do Rio do Peixe and other areas of the basin, however it should be considered that there was a recovery in other areas especially in the mountains, which allows one to state that flooding can be related to assaults of removal of vegetation in the area of São João do Rio do Peixe especially with the removal of riparian vegetation. The occupation of urban land in the cities of São João do Rio do Peixe and Sousa shows that floods are related to the occupation of the river channel and as well as interventions in the drainage of small dams, dams on the river bed near the city hinder the flow of a larger volume when the aforementioned events.

Keyword: WATERSHED, FLOODING, ATMOSPHERIC SYSTEMS; SEMIARID; MORPHOMETRICS.

LISTA DE SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas
BHRP - Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe
DNPM - Departamento Nacional de Pesquisa Mineral
CCAS - Conselho Científico para Agricultura Sustentável
CFP - Centro de Formação de Professores
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS - El Niño Oscilação Sul
EUA - Estados Unidos da América
FIBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FOJ - Faixas Orós-Jaguaribe
FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia
GATE - Garp Atlantic Tropical Experiment
GMT - Greenwich Mean Time (hora médio de Greenwich)
GOES - Global Online Enrollment System
GRADT - Gradiente
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
JAN - Jato de Altos Níveis
JBN - Jato de Baixo Nível
LABGIS - Lab. de Geoprocessamento do Departamento de Geologia
LANDSAT- Land Remote Sensing Satellite
LI - Linha de Instabilidade
mEc - Massa equatorial continental
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NDVI - Índice de Vegetação Diferença Normalizada
NEB - Nordeste Brasileiro
S.C.U - Sistema Clima Urbano

SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SINDEC - Sistema de Defesa Civil

SMG- Suítes Magmáticas Granitóides

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission,

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente

TSM - Temperaturas da Superfície do Mar

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

VCAS - Vórtice Ciclônico de Nível Superior

VCANS - Vórtices Ciclônico de Nível Superior

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE MAPAS

- MAPA 1 – Localização da BHRP. pg. 18
- MAPA 2 – Geologia da bacia do rio do Peixe pg 76
- MAPA 3 – Geomorfologia da bacia do rio Peixe pg 85
- MAPA 4 – Tipologia e distribuição dos solos na Bacia do rio Peixe pg 90
- MAPA 5 – Classificação não supervisionada - Imagem LANDSAT 1 MSS pg 94
- MAPA 6- Classificação não supervisionada Imagem LANDSAT 7 ETMXS pg 95
- MAPA 7 – NDVI da bacia do rio do Peixe entre 1987(A) e 2008(B) pg 98
- MAPA 8 – NDVI da BHRP para o mês de setembro de 1999 pg 100
- MAPA 9 – Drenagem da bacia do rio do Peixe pg 125
- MAPA 10 – Hipsometria da bacia do rio do Peixe pg 129
- MAPA 11 – Declividades da bacia do rio do Peixe pg 142

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação total anual de 1985 – 2012 pg 103

Gráfico 2 – Precipitação Média Anual da Bacia do Rio do Peixe pg 106

Gráfico 3 – Desvio Absoluto da precipitação anual pg 106

Gráfico 4 – Desvio Médio da precipitação anual pg 107

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Alterações do ONI - Oceanic Niño Index entre 1950 a 2013 pg 53
- Tabela 2 – Dados de imagens utilizados no geoprocessamento na base estatística pg 62
- Tabela 3 – Aspectos Geológicos e Geomorfológicos da Bacia do rio do Peixe – PB pg. 83
- Tabela 4 – Climatologia de 11 Postos Pluviométricos Localizados na Bacia do Rio do Peixe entre 2000 – 2012 pg 105
- Tabela 5 - Tipologia de Anos Padrão da Bacia do Rio do Peixe pg 107
- Tabela 6 – Precipitações de JAN a MAIO e Sistemas Atuantes pg 114
- Tabela 7 – Análise linear da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, PB pg 124
- Tabela 8 – Análise areal da rede hidrográfica da bacia do Rio do Peixe pg 126
- Tabela 9 – Precipitação anual associadas a inundações nos municípios da BHRP entre 1972 e 2009 pg 134

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Tipologia de formas de bacias e Índices de Gravelius pg 29
- Figura 2 – Padrões de drenagem pg 32
- Figura 3 – Tipologia de canais. pg 34
- Figura 4 - Localização da ZCIT pg 38
- Figura 5 - Campos de anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). pg 40
- Figura 6 – Formação de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre o Atlântico Sul pg 44
- Figura 7 - Número médio de passagens de Frentes frias de 1975 a 2005 pg 46
- Figura 8 - Imagem GOES -12 19/10/2011 pg 46
- Figura 9 – Ação de Linha de Instabilidades sobre o litoral norte nordestino pg 48
- Figura 10 – Complexos Convectivos de Mesoescala pg 49
- Figura 11 – Mapa Rede de Monitoramento Hidrometeorológico da Paraíba pg 57
- Figura 12 – Cartograma dos percursos de levantamento de dados pg 60
- Figura 13 – Fórmulas para cálculos morfométricos pg 61
- Figura 14 - Contexto Geotectônico – Posição da BHRP no início do riftamento pg 71
- Figura 15 – Geologia regional da Bacia Sedimentar do rio do Peixe pg 74
- Figura 16 – Pegadas de dinossauro em Sousa- PB pg 78
- Figura 17 – Classificação dos solos na bacia do rio do Peixe pg 89
- Figura 18 - Imagem GOES 10 e Carta de Superfície do dia 28/01/2008 pg 110
- Figura 19 – Imagem GOES 10 e Carta de superfície pg 111
- Figura 20 - Linhas de Correntes e Anomalias em 250 hPa pg 112
- Figura 21 – (a) Imagem GOES 10 canal 4 IR de 30/03/2008, e Carta de superfície pg 115
- Figura 22 – Imagem GOES 10 canal 4 IR e Carta de superfície do dia 12/04/2009 pg 116
- Figura 23 – Imagem GOES 10 + METOSAT 09 de 12 de abril de 2009 pg 117
- Figura 24 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 29/03/2008 (a) e (b) Carta de superfície pg 117
- Figura 25 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 30/03/2008 e Carta de superfície. Pg 118
- Figura 26 - Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 31/03/2008 e Carta de superfície. Pg 119
- Figura 27 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 11/0/2008 e Carta de superfície. Pg 120

- Figura 28 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 12/04/2008 e Carta de superfície pg 120
- Figura 29 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 12/04/2008 e Carta de superfície. Pg 121
- Figura 30 - Tipos de canais na bacia do rio do Peixe e afluentes pg 123
- Figura 31 – Padrão dentrítico e arborecente do rio do Peixe pg 123
- Figura 32 – Registro fotográfico de inundações de 1947 e 1964. pg 133
- Figura 33 – Registros fotográficos da Inundação de 2008 em SJRP e em Sousa pg 135
- Figura 34 Registros fotográficos da inundação e dos desabrigados em Sousa (2009) pg 135
- Figura 35 – Imagem Google da localização da cidade de S.J.do rio Peixe pg 137
- Figura 36 – Áreas de inundação da cidade de São João do rio Peixe (2009) pg 137
- Figura 37 – Barramentos no leito de escoamento do rio do Peixe pg 138
- Figura 38 – Localização do sitio urbano da cidade de Sousa pg 139
- Figura 39 – Empreendimento Isis, cemitério e moradias dentro do leito maior pg 140
- Figura 40 – Impactos sobre o ambiente no sitio urbano de Sousa pg 141
- Figura 41 – Declividade da calha do rio do Peixe em Sousa pg 141
- Figura 42 – Mapa base da cidade de Sousa pg 143

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	16
INTRODUÇÃO.....	16
CAPÍTULO II	23
2.1 - Revisão da literatura.....	23
2.2 - As características físico-ambientais da rede de drenagem	28
2.3 - As redes de drenagem	30
2.4 - Os padrões de drenagem	31
2.5 – A Planície de Inundação	36
2.6 – A participação dos sistemas atmosféricos nas precipitações na região Nordeste do Brasil (NEB).....	37
2.7 - A atuação da Zona de Convergência Intertropical	38
2.8 - Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) ou Ondas de Leste.....	41
2.9 - Os VCANs e a atuação sobre o NEB	42
2.10 – Frentes frias sobre o NEB.....	44
2.11- As Linhas de Instabilidades.....	47
2.12 – Os Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM’s	48
2.13 - As Teleconexões - El Niño e La Niña.....	50
CAPÍTULO III	55
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	55
3.1 – Elaboração da cartografia básica e temática	60
CAPÍTULO IV	65
ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE ...	65
4.1 – Evolução morfoestrutural.....	65
4.2 – A província Borborema.....	68
4.3 – Arcabouço geológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.	70
4.4 – Geologia da bacia do rio do Peixe	73
4.5 – A estratigrafia da bacia sedimentar do rio do Peixe	77
4.6 – Geomorfologia da Bacia do Rio do Peixe.....	79
4.6.1 - A bacia sedimentar do rio do Peixe	82

4.6.2 - O Domínio das Serra Altas	83
4.6.3 - Os pedimentos.....	86
4.7 – Os tipos de solos da bacia do rio do Peixe.....	87
4.8 – A cobertura vegetal	92
CAPÍTULO V	102
CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E OS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA BHRP	102
5.1- O tipo climático da BHRP.	102
5.2 - As Relações dos Sistemas Atmosféricos e a Precipitação na Bacia do Rio do Peixe.	108
5.3 – Os sistemas atmosféricos e eventos intensos na bacia do rio do Peixe	115
CAPÍTULO VI.....	122
A ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO DO PEIXE	122
6.1 - Análise linear da BHRP.....	124
6.2 - Análise hipsométrica da BHRP	127
CAPÍTULO VII.....	131
A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO SEMIÁRIDO.	131
7.1 – O caso das inundações no semiárido Paraibano.	132
7.2 – Os impactos antrópicos sobre a drenagem e a urbanização em São João do rio Peixe.....	136
7.3 - Os impactos urbanos sobre a drenagem e a urbanização em Sousa.	139
CONCLUSÕES.....	145
REFERENCIAS	151

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Essa é uma pesquisa geográfica que postula manter-se dentro do arcabouço geográfico pela busca do objeto através do referencial da climatologia e da geomorfologia fluvial, dos métodos e análises destas disciplinas. A pesquisa, do objeto, as inundações, se desenvolve dentro do espaço de três cidades que se encontram no baixo curso de uma bacia hidrográfica, cuja interface geomorfológica-climatológica poderá fornecer as razões, a gênese, o desvendamento do fenômeno.

As inundações são fenômenos naturais que têm marcado a história humana no planeta. Desde o não comprovado, mas relatado na cultura de diversos povos, como o dilúvio bíblico até a atualidade, esses acontecimentos têm se repetido em muitos lugares e em diversos tipos climáticos. Alguns locais são mais susceptíveis a ocorrência de inundações devido à localização geográfica, a forma do relevo ou, ainda, à incidência de massas de ar carregadas por umidade.

Nas regiões semiáridas as inundações têm caráter bastante individualizado devido estarem relacionadas com o volume de precipitações concentradas em poucas horas, como também com todos os impactos já supracitados, de modo que esse fenômeno está entre os mais abrangentes e adversos na contemporaneidade do espaço urbano, produzido em conluio com o espaço rural em transformação pelos processos de antropização.

No caso do semiárido do Nordeste Brasileiro – NEB, as inundações são eventos episódicos vinculados às precipitações, quando da sua ocorrência nos meses correspondentes ao verão e outono (dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio) com volumes que podem ultrapassar a 100 mm em períodos de apenas algumas horas.

A bacia do rio do Peixe se localiza no noroeste do estado da Paraíba, nos limites oeste da Paraíba com o sul do Ceará e ao norte com o oeste do Rio Grande do Norte. Faz parte da bacia do rio Piranhas, sendo seu principal contribuinte no setor norte (ver mapa 1). O rio do Peixe percorre os municípios de Poço Dantas, Joca Claudino (ou Santarém), Uiraúna, Poço José de Moura e faz os limites entre Santa Helena e São João do Rio do Peixe, cortando o município Sousa e tem seu exutório no município de Aparecida.

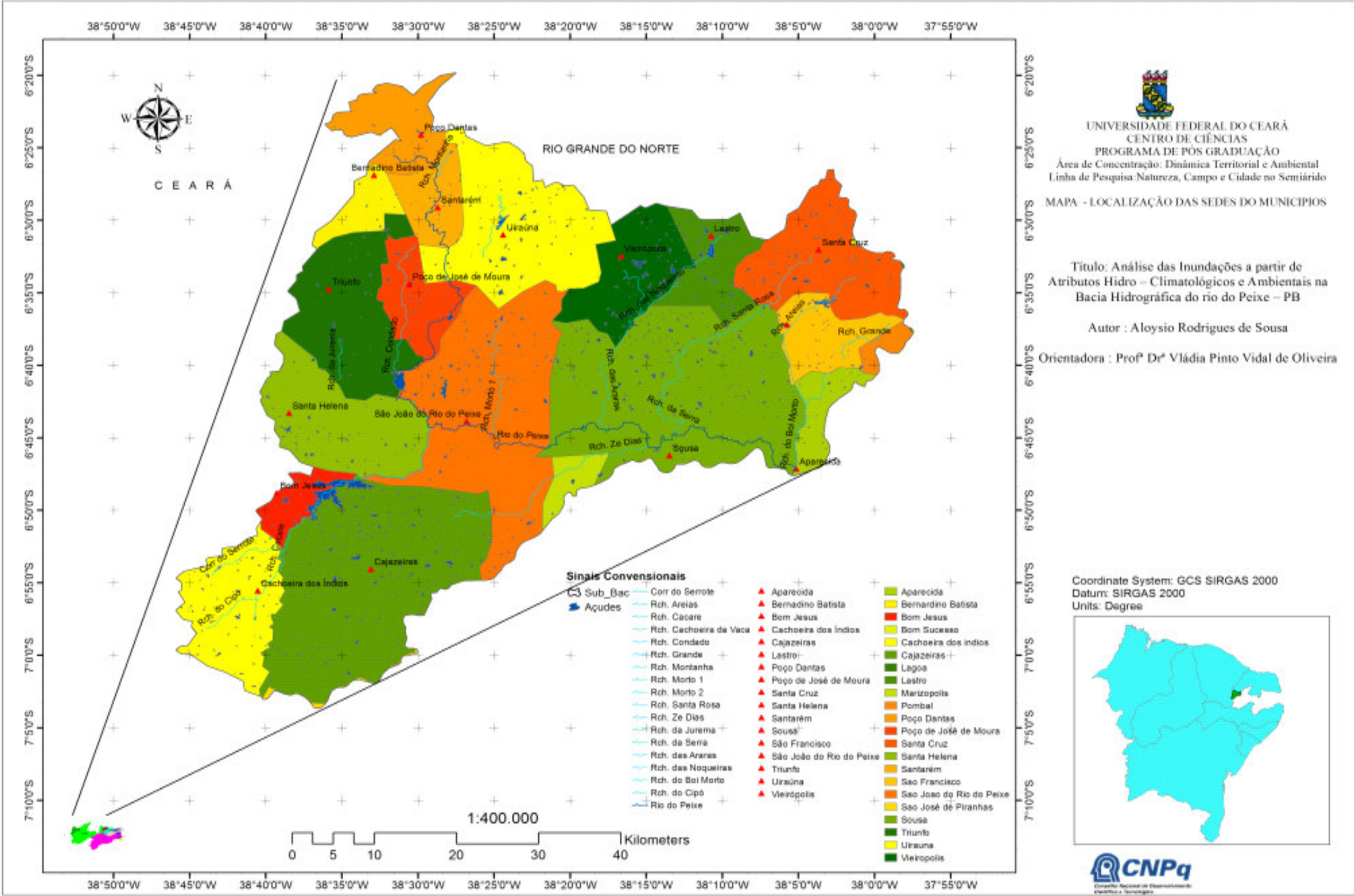
O rio do Peixe tem suas nascentes nas serras do município de Poço Dantas e se encaixa dentro da bacia com seu fluxo, inicialmente, de norte e sul. No seu baixo curso passa

a ser definido pelos sistemas de falhas e se desenvolve no sentido oeste- leste. Neste trecho, os canais do rio do Peixe são controlados pelos sistemas de falhas existentes e estende seu canal de oeste para leste, onde se situam as cidades supramencionadas e que sofrem periodicamente inundações quando das precipitações no período chuvoso.

As três cidades envolvidas nestas ocorrências são por ordem de pujança econômica e política: Sousa, São João do Rio do Peixe e Aparecida. A cidade de Sousa é o centro econômico, ou seja, o polo que concentra a economia da área e centraliza os fluxos entre as cidades que fazem parte do baixo curso da bacia.

Essas inundações são recorrentes, pois há uma forte ligação entre as precipitações e esses eventos, como também há relação entre a localização das cidades no baixo curso, a formação de solos argilosos para aquela área da bacia e atuação das atividades humanas decorrentes do uso da terra para a agricultura, desmatamento indiscriminado, barramento do leito menor do rio do Peixe por pequenas barragens de alvenaria de pedras e cal e ocupação da planície de inundação pela mancha urbana.

MAPA 1 - Localização da BHRP



A presente pesquisa tem como objetivo geral:

Analisar as características da drenagem fluvial e das condições climáticas conjugadas a outras variáveis físicas (geomorfológica, geológica, pedológica e hidrológica) como produtoras das inundações no baixo curso do rio do Peixe.

Em decorrência do objetivo proposto, a pesquisa busca especificar seus objetivos em etapas nas seguintes proposições:

1. Fazer um diagnóstico/caracterização do meio físico-biológico (do ponto de vista geológico, geomorfológico, pedológico da vegetação e drenagem) da bacia do rio do Peixe como instrumento para a compreensão da dinâmica das inundações.

2. Realizar estudos dos parâmetros morfométricos com a utilização de dados existentes e estudos já realizados e comparação com uma modelização de extração de parâmetros morfométricos, através de imagens de satélites e dados de altimetria, para subsidiar a análise da rede de drenagem da bacia do rio do Peixe.

3. Analisar as condicionantes climáticas para a bacia hidrográfica do rio do Peixe, os tipos de sistemas atmosféricos em escalas sinóptica e regional e as interações locais que determinam as inundações.

4. Analisar as atividades antrópicas quanto ao uso da água no leito do rio do Peixe, a organização espacial urbana das cidades de Sousa e São João do rio do Peixe e as possíveis interações com as precipitações na geração das inundações.

A análise proposta tem por justificativa possibilitar a compreensão espacial das inundações sucessivas em anos recentes, a importância de descortinar os tipos de sistemas atmosféricos que provocam as inundações, as relações do arcabouço da forma da bacia e a organização do espaço urbano.

Justifica-se, ainda, pela nova perspectiva quanto à resolução de problemas ambientais; maior conhecimento científico da área, preenchendo uma lacuna importante, visto que as potencialidades econômicas da Bacia do Rio do Peixe estão no campo da agricultura irrigada (frutas tropicais, arroz etc); exploração da água para o desenvolvimento industrial de alimentos e da exploração da água “in natura” do tipo mineral, que torna essa área excepcionalmente importante para o Estado da Paraíba.

A pesquisa também poderá servir como subsídio às ações de políticas públicas, pois permite maior conhecimento da área e assim possibilita determinadas ações de controle e manejo dos recursos naturais na bacia do rio do Peixe, que poderão subsidiar a intervenção, por parte do poder público, no sentido de diminuir os impactos negativos e até reduzir os problemas resultantes das inundações.

A relevância da pesquisa nesta área se materializa devido ao quase total desconhecimento do comportamento hidrológico do rio do Peixe e de seus afluentes, da natureza das relações de uso do solo urbano das cidades do baixo curso e ainda da inexistência de um planejamento de ações integradas no aspecto climatológico, hidrológico e geografia urbana das cidades, visando uma política de controle dos eventos.

Por fim, justifica-se por contribuir com estudos para o conhecimento das interações climato-hidrológicas, para a solução dos problemas da política de ordenação e organização do espaço urbano e para a melhoria da qualidade de vida das populações residentes no baixo curso do rio do Peixe, no Sertão Paraibano.

A pesquisa tem como hipóteses:

- Os episódios de precipitações intensas que provocam inundações em parte das cidades de São João do Rio do Peixe, Sousa e partes da zona rural da cidade de Aparecida, na bacia hidrográfica do rio do Peixe, estão relacionados a eventos atmosféricos e ações antrópicas de ocupação inadequada do solo urbano e do crescimento da malha urbana.
- Os eventos de inundações são decorrentes de uma configuração climato-meteorológica, onde a permanência da ZCIT – Zona de Convergência Intertropical abaixo de 5° sul, conjugada a possível aparecimento de uma LI – Linha de Instabilidade que adentra para o continente ou ainda a presença de um VCAN – Vórtice Ciclônico de Alto Nível nas proximidades da região nordeste, permite uma configuração que favorece as precipitações acima da média para a região.

As enchentes/inundações do rio do Peixe têm registros fotográficos desde os meados da década de 1950, com registro oral muito mais antigo. Portanto, o fenômeno é conhecido de muitas décadas. Nesses eventos há muitas variáveis interligadas como a forma da bacia, a utilização do solo urbano e rural, as precipitações concentradas, a localização

geográfica no baixo curso e a expansão urbana, que se relacionam e interagem na produção do fenômeno.

Desse modo, a pesquisa procura responder as seguintes questões:

- Por que acontecem as inundações? A forma da bacia é propícia a inundações?
- Se as configurações geomorfológica/morfométrica (física) não forem sujeitas a inundações, quais os fatores atmosféricos ou da organização espacial que contribuem para que elas aconteçam?
- Qual a configuração atmosférica, em escala global, que leva a ocorrência de inundações na área objeto da pesquisa?
- Que tipo(s) de sistema(s) atmosférico(s) é (são) encontrado (s) na área objeto durante os eventos climáticos intensos?
- Como se apresenta o quadro atmosférico sinóptico dos fatores atmosféricos (temperatura, pressão, velocidade, direção dos ventos e umidade relativa) em um ano chuvoso da(s) estação (ões) na área objeto, que leva a inundações?
- Quais as diferenças e similaridades dos fatores atmosféricos entre a parte altimetricamente mais elevada e a parte baixa da bacia? Pode-se comparar as condições atmosféricas presentes em Poço Dantas com São João do rio do Peixe e Aparecida?
- Quais os impactos antrópicos da organização espacial do uso do solo urbano que podem contribuir para as inundações?

Do exposto, entende-se que a abordagem de desvendamento do objeto tende a não permanecer estanca em uma determinada área e tampouco seguir um método único, visto que para o entendimento do foco da pesquisa há de se lançar mão de conceitos de diversas áreas do conhecimento no sentido de entender, sob o prisma da geografia, a dimensão do fenômeno que só poderá ser percebido na sua integralidade se for abordado dentro do arcabouço sistêmico.

No capítulo II realiza-se a revisão bibliográfica, o estado da arte que incorpora os movimentos da circulação geral da atmosfera e da dinâmica dos sistemas atmosféricos no Nordeste e os sistemas atmosféricos que geram as inundações. Ainda em conjunto com essas análises, a pesquisa desenvolve uma revisão da literatura que embasa os principais conceitos

relativos à bacia hidrográfica tais como a forma, o cálculo de índices relativos, as possibilidades de sofrer inundações, a tipologia de canais e os padrões de drenagem.

O capítulo III discorre sobre toda base metodológica da apropriação de dados, das etapas e modelagem da drenagem, das técnicas aplicadas às imagens de satélites para a produção dos mapas, dos conceitos aplicados às técnicas para permitir as análises referentes ao NDVI e as classificações supervisionadas e não supervisionadas das imagens que correspondem à bacia hidrográfica. Nesse capítulo, apresentam-se as bases estatísticas para a determinação do ano padrão, do desvio absoluto e do desvio percentual da tabulação e manipulação de dados referentes aos postos pluviométricos da bacia.

O uso do Sistema de Informações Geográficas e as análises destes procedimentos dão suporte às análises do Capítulo IV, que se concentra sobre os aspectos geoambientais da Bacia do rio do Peixe. A análise dos Aspectos Geoambientais da bacia do rio do Peixe desenvolve-se com as análises dos aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, da formação vegetal e da organização política-administrativa e econômica dos municípios que compõem a bacia do rio do Peixe.

A análise dos Condicionantes Climáticos e dos sistemas de tempos atuantes na BHRP, onde se retoma a atuação dinâmica dos sistemas atmosféricos do Nordeste e aplica-se na área objeto de estudos é o objeto do Capítulo V.

O capítulo VI se debruça sobre a análise morfométrica em que os aspectos lineares e hipsométricos são investigados para demonstrar as possibilidades que o arcabouço físico da bacia ser propenso, ou não, a inundações. É um capítulo técnico, onde a aplicação de dos conceitos da engenharia hidráulica, somado aos procedimentos da geomática, traz as respostas para a susceptibilidade e o comportamento da forma da bacia e da drenagem.

E, por fim, a análise do sítio urbano de São João do rio do Peixe e Sousa, os impactos causados pela urbanização, pela tessitura negativa da organização urbana, notadamente nos bairros onde o rio do Peixe corta a cidade, mostrando as relações danosas sobre o ambiente e os impactos sobre a drenagem, estão no capítulo VII.

CAPÍTULO II

2.1 - Revisão da literatura

Como já exposto na introdução, esta pesquisa é de cunho geográfico e se insere no arcabouço teórico metodológico da Geomorfologia Fluvial e da Climatologia Dinâmica.

Mendonça (2009) afirma que o estudo da atmosfera pela Meteorologia ficou pertencendo ao campo das ciências naturais (ao campo da Física), sendo de sua competência os estudos de fenômenos isolados da atmosfera e do tempo atmosférico (weather, temps). Enquanto que a Climatologia constitui o estudo científico do clima que trata dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas, contribuindo para uma intervenção mais consciente na organização do espaço.

Nimer (1966) analisando essa questão faz distinções importantes entre a Meteorologia e a Climatologia Dinâmica. À primeira vista, para os menos avisados, a Meteorologia e a Climatologia Dinâmica constituem uma única ciência, mas isso não se confirma nem quanto ao método de investigação e nem quanto aos objetivos e resultados. A meteorologia se interessa por massas de ar e frentes como problema individual que ele tem que enfrentar no seu trabalho diário. O climatologista dinâmico os usa como instrumentos para explicar os fenômenos climáticos persistentes. Segundo Nimer, o climatologista está interessado em outra feição da Circulação Atmosférica: compreender o porquê de certos anos serem mais úmidos ou mais frios que outros. Essa questão só poderá ser respondida pela Climatologia Dinâmica, não podendo a mesma responder à Meteorologia, nem mesmo a Climatologia Física ou a Bio-Climatologia.

Para a Climatologia, a compreensão dos diferentes climas do planeta é estruturada através dos elementos climáticos e dos fatores geográficos. Os elementos são a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica. Esses elementos variam espacial e temporalmente em decorrência da influência dos fatores geográficos do clima, que são: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas (MENDONÇA, 2009, p. 15).

Sendo o clima muito dinâmico, torna-se necessária a observação de seus principais elementos como a temperatura, a umidade e a pluviosidade por um longo período de tempo para verificar se as variações de seu comportamento são realmente permanentes ou são fatores de mudança climática. Ou mesmo se são ciclos periódicos que tendem a se repetir de tempos em tempos, tratando-se apenas de variabilidade do clima (SANT'ANNA NETO e ZAVATINI, 2000).

Na zona tropical, as chuvas assumem o papel de destaque na compreensão do clima. Em escala regional, a precipitação pode ser considerada como o principal elemento de análise na organização e no planejamento territorial e ambiental em função do elevado grau de interferência, impacto e repercussão no tempo e no espaço (SANT'ANNA NETO: 1998).

A bacia hidrográfica, entendida como célula básica de análise ambiental, permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental (BOTELHO e SILVA, 2004).

A bacia hidrográfica pode ser então analisada por suas relações sistêmicas. É neste recorte espacial onde se realizam os balanços de entrada provenientes da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.

Sendo assim, as análises principiam sobre um determinado espaço que tem como recorte a bacia hidrográfica. Trata-se de uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, compondo-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1993 p. 40).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos e a adição da definição da bacia hidrográfica como unidade de estudo e gestão.

Assim, é de grande importância para gestores e pesquisadores a compreensão da aplicabilidade do conceito de dados morfométricos e de sua análise para a gestão e resolução de problemas, tais como as cheias ou inundações. Dados morfométricos dizem respeito aos

cálculos das medições do número e comprimento dos canais, da relação deste número e a área de ocorrência, da densidade de drenagem e de outros índices decorrentes desta relação.

Esses dados permitem compreender que, em função do desenvolvimento da sociedade, cada vez mais as bacias hidrográficas têm sofrido alterações na estrutura física dos canais, no aporte de sedimentos, na composição da biota, no regime hidráulico e no fluxo de matéria e energia. Tais alterações e o padrão espacial do uso e cobertura do solo têm importantes efeitos sobre a produção e transporte de sedimentos (VANACKER et al., 2005).

GUERRA (2003) relata que a análise geomorfológica de uma bacia hidrográfica se prende apenas aos processos que ocorrem no leito dos rios, já que grande parte dos sedimentos transportados é oriunda de áreas situadas mais a montante, vindos das encostas que fazem parte da bacia hidrográfica. Assim, qualquer dano que aconteça em uma bacia hidrográfica vai ter consequências diretas ou indiretas sobre os canais fluviais.

Os processos de erosão de solos e os movimentos de massa fazem com que o escoamento superficial transporte os sedimentos oriundos desses danos ambientais para algum rio que drena a bacia. Conforme a proximidade 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 (BOTELHO, 1999 p. 269).

Na abordagem de ALCÂNTARA e SILVA (2005), os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre possuíram função relevante e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. Sendo assim, a aplicação de um estudo morfométrico pode ser a base para um estudo mais detalhado de suas características geomorfológicas e sua relação com a hidrologia.

A análise de estudos das bacias hidrográficas começou a apresentar caráter mais objetivo com a contribuição de HORTON (1945) e STRAHLER (1957), a partir daí derivou para os estudos de hierarquia fluvial, análise areal, análise linear e análise hipsométrica. Essas análises e compartimentações basearam-se em dois parâmetros hidrográficos que foram considerados de forma simultânea e combinados: os padrões de drenagem e a densidade de drenagem.

O conceito de bacia hidrográfica diz respeito a uma área onde a convergência do fluxo de descarga se faz para o interior dessa área, tendo como saída uma seção transversal ou exutório, onde é possível medir a vazão neste ponto de passagem do escoamento.

A área de uma bacia poderá ser medida por diversos processos, desde a sobreposição de papel transparente e cálculos de área feitos através de planímetro ou ainda por processos digitais que tem a vantagem da rapidez e pode ter a precisão ampliada pela possibilidade do aumento da acurácia das imagens de satélites disponíveis no meio digital.

Nos dias atuais a ocorrência de inundações tem sido observada com mais frequência devido a ocupação da planície de inundação pelo crescente fenômeno da urbanização, que ocorre em grande parte das cidades do mundo.

O acelerado crescimento das cidades e os períodos mais ou menos longos entre as inundações de áreas marginais ao rio conjugado com a pressão exercida pelo setor imobiliário urbano, provoca o aumento da incidência do fenômeno sobre essas áreas, além de outros fatores como construções indevidas, agricultura itinerante no leito do rio, invasão destas áreas pelas populações mais pobres, estrangulamento da drenagem, etc.

Na última década do século XX, oito inundações em diferentes regiões do mundo causaram mais que 1.000 fatalidades e 24 inundações resultaram em um total de perdas de 1(um) bilhão de dólares cada (Kundzewicz, 2002). Estes eventos têm ocorrido dentro de uma variabilidade climática de longo prazo e um aumento foi percebido na variabilidade relativa às mudanças climáticas. Além disso, o desenvolvimento rápido de mudanças no uso da terra e do desenvolvimento econômico em muitas partes do mundo tem colocado em risco populações em número cada vez maior, com relação aos eventos extremos hidroclimatológicos (SHELTON, 2009, p 305).

Pode-se fazer diferença entre dois tipos de inundação: a inundação das áreas ribeirinhas e as inundações provocadas pela urbanização. A primeira é considerada natural e abrange áreas maiores que 500 Km². O segundo tipo é oriundo das alterações provocadas pela urbanização, ocupação e impermeabilização do solo de forma desordenada, ocorrendo em bacia de pequenas áreas inferiores a 100 Km²(TUCCI, 2003).

As inundações podem ser estudadas sobre três aspectos básicos. Primeiro o substrato geomorfológico, que se caracteriza pela rede de canais, forma da bacia hidrográfica, tempo de escoamento e diversos outros parâmetros relativos à formação e caracterização do relevo.

Em segundo aspecto, as inundações podem ser analisadas dentro do arcabouço climático meteorológico que envolve a questão das precipitações, os tipos de massas de ar que podem proporcionar as precipitações, bem como as interligações entre as escalas climáticas locais, regionais e sinóticas.

Por último, as análises das inundações se prendem à organização e às mudanças do uso do solo, com a incorporação de danos ao ambiente que resultam em contribuições para a facilitação das inundações.

As duas variáveis que mais determinam se ocorrerá uma inundação são: 1) O volume do escoamento sobre a superfície; 2) A uniformidade do tempo de escoamento em diferentes partes da bacia.

A maior uniformidade é responsável pelo tempo de concentração e pela grande probabilidade de ocorrência de um pico de cheia. Em bacias que têm tal uniformidade isto pode criar fluxos de inundação de volumes de vazões que, em outros, iria passar como um evento mais moderado. Em bacias constituídas por rochas e solos com maior permoporosidade, que absorvem maior quantidade de água por precipitação, resultam em situação menos agravante em função da falta de volume d'água em escoamento superficial.

A inundação ocorre quando a precipitação é intensa e a quantidade que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, da sua calha normal. Enfim, a enchente é caracterizada por uma grande vazão de escoamento superficial, enquanto que a inundação caracteriza-se pelo excesso de água no leito maior que extravasa para a planície de inundação.

As condições da superfície também são importantes quanto ao desdobramento das precipitações, podendo, às vezes, precipitações menores causarem impactos e perdas devido a anterior encharcamento da superfície. Como consequência, o escoamento superficial se efetua com maior intensidade devido a impossibilidade de infiltração.

Durante as inundações significativas, vidas podem ser interrompidas, as perdas de estoque podem ser de dezenas de milhares, além dos danos a casas, empresas, estradas, etc., que podem ser calculados em centenas de milhões de dólares. Perda de produção pode aumentar significativamente os custos dos alimentos, como também aumentar os custos intangíveis, tais como efeitos sobre a saúde da população.

Na atualidade, a conjugação das ações antrópicas com as obras da engenharia hidráulica sem um planejamento integrado e até com a expansão da malha urbana das cidades, resultam muitas vezes em transtornos e perdas às populações e aos cofres públicos.

Como já exposto, uma das variáveis mais importantes para o estudo das inundações é a forma da bacia, seguido de suas características geométricas, incluindo a topologia dos canais e da rede de drenagem, a quantidade e descrição da textura, padrão, forma e relevo, como também devido a drenagem da bacia ser uma entidade física usada para mensurar o volume de água e sedimentos.

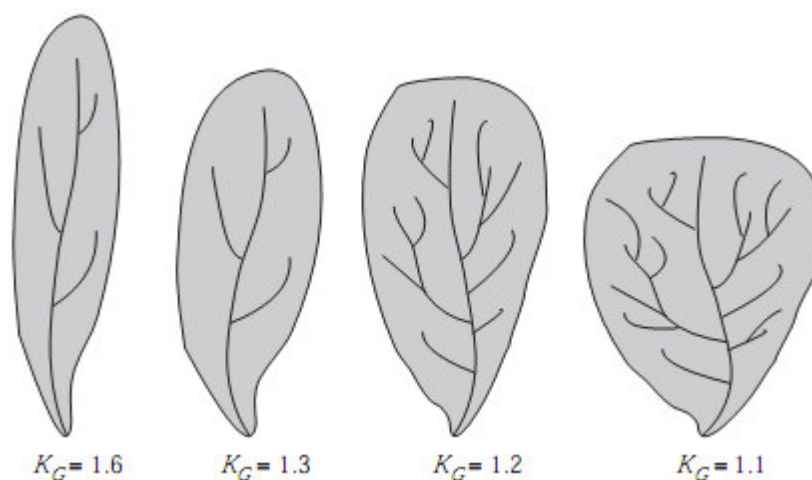
2.2 - As características físico-ambientais da rede de drenagem

A forma da bacia é uma variável essencial para a compreensão das inundações na bacia, pois influencia a descarga na seção transversal e diretamente influencia o hidrograma. Por exemplo, um mesmo evento de chuva pode ter comportamento diferenciado numa bacia alongada devido ao tempo de escoamento até o exutório. Reciprocamente, uma bacia de forma arredondada tenderá a ter um tempo de concentração rápido e, com isso, um alto pico de descarga mesmo se todas as outras variáveis permanecem as mesmas.

Vários índices morfológicos podem ser usados para comparar diferentes bacias. Por exemplo, o Índice de Gravelius ou coeficiente de compacidade – K_c é um índice de compacidade ou densidade que é definido como a relação entre o perímetro de uma bacia e o perímetro de círculo de mesma superfície de área. Ele é expresso pela equação:

Este índice é calculado medindo-se o perímetro e a área de uma bacia hidrográfica de um mapa topográfico. O índice será igual a 1 para uma bacia de forma circular e maior que 1 para uma bacia alongada, como se pode observar na figura abaixo:

Figura 1 – Tipologia de formas de bacias e Índices de Gravelius



Fonte: Adaptado de Hydrology: A Science of Nature (2011)

Outros índices incluem:

- o índice de densidade de drenagem de HORTON (1932), definido como a relação entre a superfície da área de uma bacia e o comprimento dos seus principais tributários.

- a razão de circularidade de MILLER (1953), definido como a relação entre a área de superfície de uma bacia e aquela de um perímetro de círculo com o mesmo comprimento.

- a razão de alongamento de SCHUMM (1956), que representa as relações entre a o diâmetro de um círculo com a superfície igual a da bacia hidrográfica e os comprimentos máximos da bacia.

As relações entre a área de drenagem e a magnitude das inundações feita através de modelos, ou seja, do pico de escoamento superficial, já era conhecida desde 1865 quando Dickens descreveu as relações entre as máximas descargas de drenagem e a área de drenagem da região de Bengala na Índia.

As equações que representam os primeiros esforços para incorporar as medidas dos sistemas de drenagens e predizer inundações têm esta forma:

$$Q_x = Aa^b$$

Indicando a força da função da relação entre a área (A) e a descarga (Q) de mesmo intervalo de recorrência x.

A densidade de drenagem talvez seja a mais importante variável morfométrica criada por Horton (1932), que é representada pelo quociente resultante do somatório do total do comprimento de canais pela área de drenagem. A densidade de drenagem se constitui na medida de dissecação que reflete a competição efetiva entre o escoamento superficial e a infiltração. Horton também concluiu que a densidade de drenagem é uma medida aproximada do comprimento do escoamento superficial, como metade do inverso da distância entre a base de um canal e o topo da divisão adjacente.

2.3 - As redes de drenagem

Entende-se como rede de drenagem o somatório de todos os canais que juntos promovem o transporte da água de montante para jusante. Desse modo, todo e qualquer fluxo que seja permanente ou temporário, natural ou artificial que participe do fluxo é considerado como rede de drenagem. Esta é uma das mais importantes características da bacia hidrográfica. A rede de drenagem tem uma organização e uma hierarquia, portanto, isso as diferencia umas das outras, pois esses elementos são organizados e controlados por quatro principais fatores: a geologia, o clima, a declividade do terreno e a presença humana.

Segundo MUSY (2011), a geologia da bacia influenciará na rede de drenagem, pois diferentes tipos de substratos será mais ou menos susceptível a erosão e, dessa forma, vai influenciar na forma da bacia e, conseqüentemente, na rede de drenagem. Uma rede de drenagem formada em rochas sedimentares terá um arcabouço e arranjo muito diferente de uma bacia onde o substrato é cristalino. A estrutura das rochas, incluindo a forma, falhas e dobras atuam para mudar a direção do fluxo.

O clima é mais um fator de controle sobre a rede de drenagem, pois esta é densa em regiões úmidas e praticamente desaparece nas regiões desérticas. O clima também vai condicionar a vegetação, que também influenciará na proteção ao solo e formação de canais. Assim, nas regiões desérticas, onde o solo apresenta-se desprovido de cobertura vegetal, a rede de drenagem condicionada pelo baixo índice de precipitação e baixa cobertura vegetal será muito menos desenvolvida.

A declividade dos terrenos determina se os rios estão em uma fase erosiva ou de sedimentação. Nas altas elevações os rios contribuem para erodir as rochas onde eles estão entalhados. Nas áreas de depressão os rios tendem a afluir sobre sedimentos depositados. Com essas ações os rios desenvolvem uma organização de drenagem que pode ser identificado dentro de um padrão, o qual reflete o arranjo entre as variáveis da geologia, do clima, na natureza dos solos e também das ações antrópicas sobre o ambiente.

A presença e a ação humana sobre o ambiente pode modificar substancialmente a drenagem. Casos há, notadamente nas áreas semiáridas, em que a ocupação humana e as ações sobre o ambiente modifica de tal maneira que ocorrem o desaparecimento de canais, a mudança ou deslocamento do leito do rio e/ou a extinção de fluxo superficial onde havia a presença de áreas férteis, plantações e cultivos que deixam de existir devido a falta da água, em decorrência do desmatamento e outras ações sobre a área e adjacências.

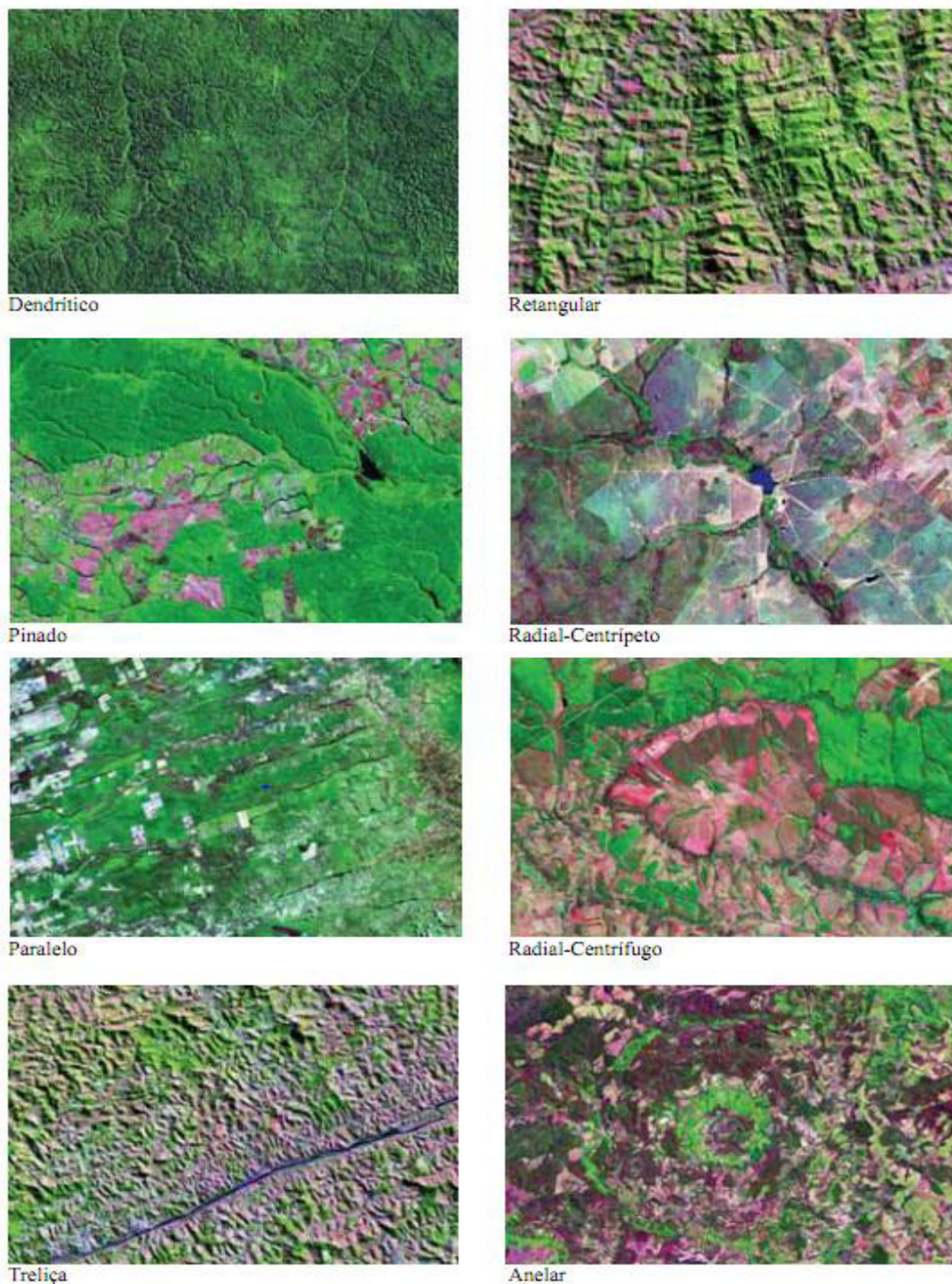
2.4 - Os padrões de drenagem

A bacia hidrográfica vai apresentar um padrão de drenagem o qual é função das relações sistêmicas entre as variáveis da geologia, geomorfologia e climatologia da área. Esse padrão vai refletir o jogo existente dessas variáveis para a efetiva materialização e arquitetura da drenagem sobre essa área. Esse padrão poderá ser dentrítico, de treliça, retangular, anelar, distributário, centrípeta e radial. MUSY et al. 2011, p. 91 afirmam que:

“When the network is adapted to a specific geological structure, it could be divided into three types: orthogonal, radial, with convergent or divergent elements (depressions due to erosion or volcanoes, respectively), or ring-shaped. When the drainage network develops independently of geological constraints, it can be: dendritic (irregular formations), digitate (network elements in the shape of a duck’s foot) or parallel (when the network presents a limited degree of hierarchization)”¹

¹ Quando a rede de drenagem está adaptada para uma estrutura geológica específica, pode ser dividida em três tipos: ortogonal, radial, com elementos convergentes ou divergentes (depressões devido à erosão ou vulcões, respectivamente), ou em forma de anel. Quando a rede de drenagem desenvolve independentemente de restrições geológicas, que pode ser: dendrítica (formações irregulares), digital (elementos de rede na forma de um pé de pato) ou em paralelo (quando a rede apresenta um limitado grau de hierarquização)

Figura 2 – Padrões de drenagem



Fonte: IBGE (2009)

De forma que o padrão dentrítico apresenta-se onde não há fortes controles geológicos que crie zonas ou direções de fortes variações de susceptibilidade a erosão química e física. As zonas de direção mais susceptíveis de erosão se mostram no padrão paralelo, de treliça, retangular, ou anelar. A distribuição dos padrões ocorre usualmente onde os canais

saindo das partes altas para as áreas deprimidas formam leques de dejeção aluviais ou nos deltas onde os canais adentram em lagos ou oceanos. Estruturas regionais podem também produzir formas de qualquer destes padrões e serem arranjados em metapadrão radial ou centrípeto.

No padrão de treliça os canais são orientados em duas direções mutuamente perpendiculares entre si, alongados na direção dominante da drenagem e de ângulos aproximadamente perpendiculares. Quanto ao controle geológico, esse padrão expressa que é pela alternância de rochas sedimentares inclinadas ou dobradas com os leitos dos rios resistentes e com fracos ângulos muito agudos entre os canais.

O padrão retangular mostra canais orientados em duas direções perpendiculares, tendo comprimentos similares em ambas as direções e a ligação entre os canais se fazem por ângulos perpendiculares. Esse padrão é resultante de um sistema de falhas retangulares.

O padrão anelar mostra os principais canais em um padrão circular e ligações de canais aproximadamente perpendiculares. Aqui a presença estrutural é forte, sendo esse padrão resultante de um domo erodido ou parcialmente erodido, de origem sedimentar com alternância de rochas resistentes e frágeis.

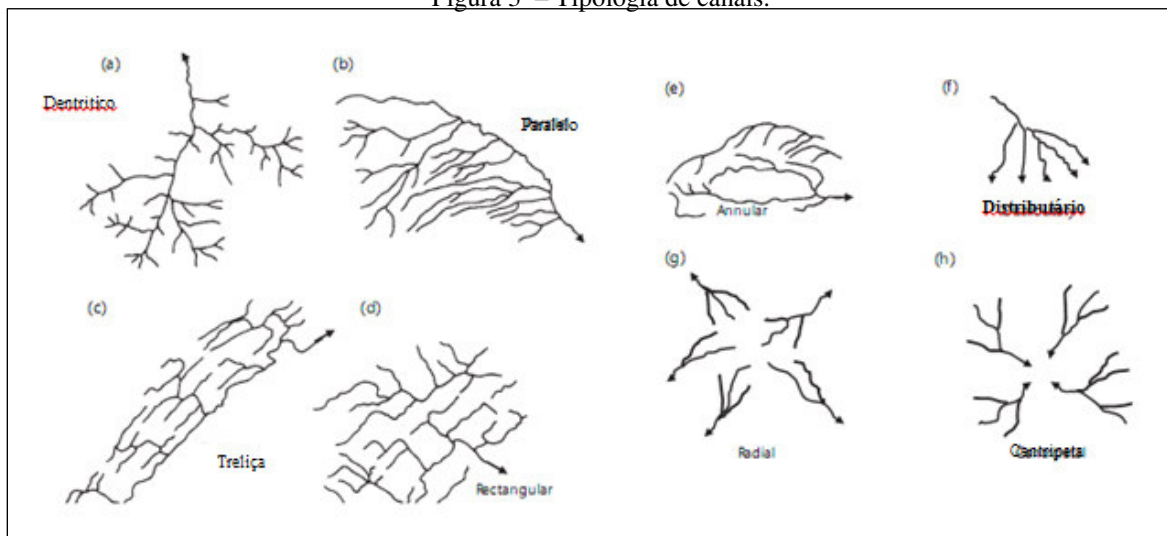
Para o padrão distributário observa-se um único canal que se divide em dois ou mais canais que não se afastam continuamente. Nesse padrão observa-se um espesso depósito aluvial que correspondem aos deltas e leques aluviais.

O padrão radial e centrípeto que constitui os metapadrões e estão intimamente ligados aos vulcões ou restos de formações vulcânicas. No padrão radial os canais se distribuem de um ponto central, como resultante de um cone vulcânico ou domo intrusivo de rochas ígneas e no padrão centrípeto a rede de canais fluem em direção ao centro da base, estando em relação íntima com caldeiras, crateras ou bacias tectônicas.

Alguns padrões de drenagem são indicativos, por si só, de determinada estrutura geológica. Falhas ativas podem ser reveladas pelos padrões treliça, retangular, distributário ou palimpsesto. Zonas de dobramento ativo mostram padrão anelar ou treliça; zonas soerguidas podem ser identificadas pelos padrões distributário, centrífugo, palimpsesto, amorfo, pinado e lagunado; zonas subsidentes são identificadas pelos padrões reticulado, multibasinal, centrípeto e palimpsesto; e zonas basculadas são reconhecidas pelos padrões treliça, dicotômico, paralelo, colinear ou palimpsesto (IBGE, 2009).

Os canais também apresentam formas definidas por algumas variáveis e que se classificam em 3 (três) tipos: os canais retilíneos, os canais meandantes, os canais anastomosados e ainda alguns autores ainda se referem ao tipo “braided” ou trançado.

Figura 3 – Tipologia de canais.



Fonte: Adaptado de Global Geomorphology (SUMMERFIELD, 2010)

No tipo retilíneo os canais estão condicionados por uma formação geológica de caráter uniforme e por isso não vamos ter canais naturais de grande extensão. A exceção de trechos representados e controlados por linhas de falhas, diaclases ou fraturas e dos canais localizados em planícies de restingas, planícies deltaicas e cordões arenosos, os canais retilíneos encontrados na natureza são poucos frequentes. LEOPOLD e WOLMAN (1957) ressaltam que, de uma maneira geral, os canais retos, com extensão superior a 10 vezes a sua largura são extremamente raros na natureza (CUNHA, 1998, p.215).

Os canais meandantes contém um único canal caracterizado por alta sinuosidade, com regular alternância de curvas. Eles são frequentes em áreas úmidas cobertas de vegetação ciliar. A formação da depressão (pools) e umbrais (rifts) ao longo do leito fluvial define as margens de erosão e deposição e representa um estágio inicial de meandramento. São várias as condições para o desenvolvimento dos meandros: camadas sedimentares de granulação coerente, firmes e não soltas; gradientes moderadamente baixos; fluxos contínuos e regulares, e cargas em suspensão e de fundo em quantidades mais ou menos equivalentes.

O canal do tipo anastomosado contém múltiplos fluxos que convergem e divergem permanentemente, usualmente com canais vegetados e ilhados. Caracterizam-se por apresentar grande volume de carga de fundo, com um perfil transversal largo, raso e

grosseiramente simétrico, que apresenta pontos altos (topos das ilhas e dos bancos) e baixos (talvegues dos canais) com contínuas migrações laterais. As precipitações concentradas e os longos períodos de estiagem, nos climas árido e semiárido, e as pesadas nevasdas e os degelos rápidos no clima frio (CUNHA,1998; p. 218).

As ações antrópicas sobre o ambiente físico da bacia efetuam transformações contínuas sobre a rede de drenagem, que vão desde a canalização e drenagem para a irrigação até a construção de barragens, de represas, regularização de canais, de modo que os canais estão em processo dinâmico de mudança e esse processo aciona um equilíbrio do perfil longitudinal.

Para LEOPOLD, WOLMAN e MILLER (1964), a rede de canais de drenagem pode ser descrita de acordo com a organização (desenho) dos canais. Além de descrições de padrões ou formas, também é possível efetuar descrições quantitativas de vários aspectos da organização da drenagem, porque a rede de drenagem é intimamente associada com a geometria hidráulica dos canais e com as formas de perfis longitudinais dos rios. Esses parâmetros combinados (padrões e densidade) permitiram a identificação de padrões morfológicos fluviais que, uma vez correlacionados aos padrões morfológicos interfluviais, oferecem maior precisão na tarefa de caracterizar as unidades geomorfológicas e, eventualmente, o seu mapeamento.

CHRISTOFOLETTI (1980) afirma que a densidade de drenagem reflete ainda o comportamento hidrológico das rochas. Nas rochas onde a infiltração encontra maior dificuldade há condições melhores para o escoamento superficial, gerando possibilidades para a esculturação de canais e, portanto, uma densidade de drenagem mais elevada, como entre as rochas clásticas de granulação fina. O contrário ocorre com as rochas de granulometria mais grossa.

Segundo VILELLA e MATTOS (1975), o índice de densidade de drenagem varia de 0,5 Km/Km² para bacias com densidade de drenagem baixa, a 3,5 Km/Km² ou mais, para bacias com excepcional alta densidade de drenagem.

De acordo com FIBGE (1995), a drenagem de determinada área sofre a influência das condições climáticas, das formas de relevo, da estrutura geológica, da composição e dos aspectos físicos das rochas, dos solos, da vegetação, e da ação antrópica.

As ações antrópicas, na maioria das vezes, efetuam importantes transformações ao meio ambiente nas sociedades modernas, “considerando que o movimento do solo, torna-se complexo com as avalanches e as inundações, cujos efeitos destrutivos podem ser multiplicados por nossas práticas nefastas em matéria de gestão do espaço. Os desmatamentos podem provocar avalanches onde elas não ocorriam. As inundações são frequentemente agravadas por uma má utilização do solo, uma gestão inadequada dos leitos fluviais e de má concepção, mal gerenciamento e mal conservação de obras de engenharia (MANESSIER, 1992 A. citado por HÉTU, B.; DUBÉ, 2003).

2.5 – A Planície de Inundação

Essas ações antrópicas geralmente se desenvolvem nas áreas contíguas ao leito do rio. Essa área que muitas vezes são construídas a partir da sedimentação ou deposição lateral dos cursos d’água são o locus da ocupação urbana contemporânea. A planície de inundação, também conhecida como várzea, tem essa denominação, devido ser essa área inundada tornando-se o leito do rio, durante as enchentes.

Segundo Christofolletti (1936) a planície de inundação é a faixa do vale fluvial composta de sedimentos aluvionais bordejando o curso de água, e periodicamente inundadas pelas águas de transbordamento provenientes do rio, embora esta definição não congregue a todos os critérios. A planície de inundação para o geólogo é a área do vale fluvial recoberta com materiais depositados pelas cheias: para o hidrólogo, é a área do vale fluvial periodicamente inundada por cheias de determinadas magnitudes e frequências, para o legislador, pode ser delimitada e definida pelo estatuto do uso da terra; para o geomorfólogo, a planície de inundação apresenta configuração topográfica específica, com formas de relevo e depósitos sedimentares, relacionados com as águas fluviais, na fase do canal de na de transbordamento (CHRISTOFOLETTI, 1936, pg. 76).

Portanto, as relações da construção/destruição da planície de inundação está associada às frequências e magnitudes das precipitações e do escoamento fluvial, como também das relações da ação antrópica com o ambiente, na bacia hidrográfica.

As bacias de drenagem possuem forte relação com as condições climáticas, visto que seu funcionamento depende do aporte de água pluvial. Nas bacias de pequeno porte a variabilidade climática em geral é pequena, mas nas bacias de grande porte as diferenças na

sucessão do tempo podem ter papel importante no que diz respeito ao aporte de água e no funcionamento do sistema de drenagem (BORSATTO: 2009; p.84).

Dessa forma, o aprofundamento da análise em segunda etapa deve necessariamente inserir-se na busca da configuração atmosférica, dos sistemas atmosféricos e do ritmo destes sistemas na participação das precipitações intensas que geram inundações sobre o substrato físico nas diversas escalas.

2.6 – A participação dos sistemas atmosféricos nas precipitações na região Nordeste do Brasil (NEB)

Os movimentos da atmosfera que envolvem o planeta são essencialmente produzidos pelo aquecimento provocado pela luz solar. Então, é o sol como fonte de calor que provoca o aquecimento da superfície e dos gases que compõem a atmosfera para provocar os movimentos de ascendência e descendência do ar atmosférico que irão produzir as condições de tempo em determinada área.

A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, muitas vezes referida como o equador meteorológico e o *doldrums*, marca a convergência de fluxos de ventos dos dois hemisférios. A convergência e a subida do ar resultam na banda de nebulosidade que circunda o equador. Esta banda está claramente vista nas imagens de satélites. A ZCIT e o cinturão de pluviosidade resultante de ventos que se deslocam em direção norte-sul.

Para o Nordeste Brasileiro – NEB existem pelo menos 06 (seis) sistemas atmosféricos que produzem condições de tempo, em ação conjunta ou não, que podem produzir precipitações na região. Os principais sistemas atuantes para o NEB são: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidades associadas às Frentes Frias, os Distúrbios de Leste, os Ciclones na média e alta troposfera do tipo baixa fria conhecidos como Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS/VCANS), as brisas terrestres e marinhas e um mecanismo de escala planetária como a Oscilação 30-60 dias (ALVES et al, 2006).

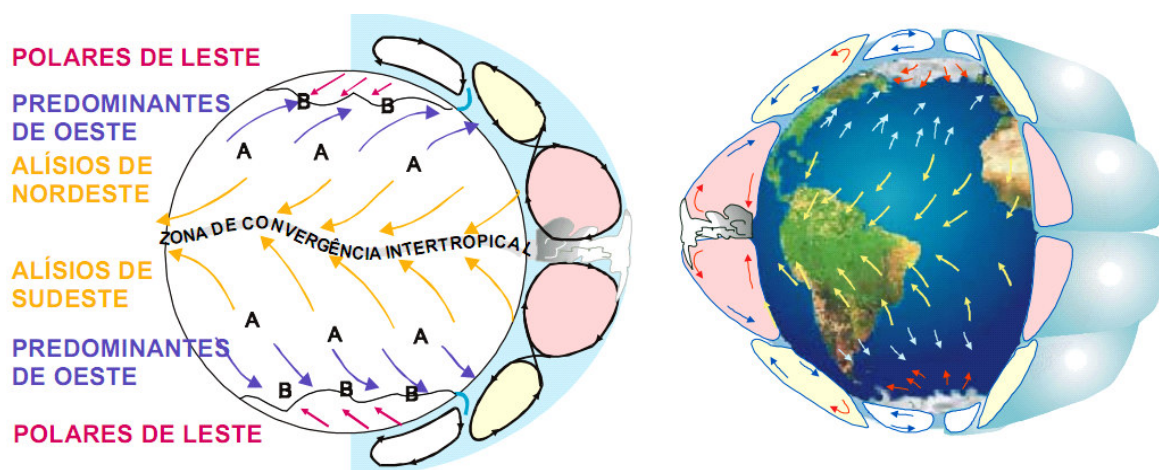
Esses sistemas atuam na região do NEB causando ora secas extremas ora inundações e ainda uma intensa variabilidade climática anual e mesmo sazonal, podendo, em alguns casos, se verificarem variabilidade em nível local, fruto de conjugações de atuações do sistema em grande escala, com eventos de mesoescala produzidos em níveis regionais com interferências locais, tais como a altimetria e vegetação.

Nas precipitações do NEB a ZCIT é o principal sistema atuante ocorrendo nos meses de fevereiro a maio, sendo que a distribuição se faz de forma desigual entre as regiões da faixa litorânea, do Setor norte do NEB e Centro Oeste e do setor Sul já em transição para o Sudeste.

2.7 - A atuação da Zona de Convergência Intertropical

A ZCIT é a resultante principalmente da confluência entre os alísios de sudeste e alísios de nordeste, se constituindo de bandas de nuvens circundando a faixa equatorial. O choque entre os ventos alísios, em baixos níveis, faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação de nuvens, baixas pressões, altas temperaturas e intensa atividade convectiva e ainda precipitações.

Figura 4 - Localização da ZCIT



Modelo e circulação da atmosfera mostrando os ventos à superfície e as áreas de alta e baixa pressão. Fonte:

Varejão, 2006

A ZCIT está localizada em uma zona de forte atividade convectiva, onde a ascensão do ar quente e úmido do oceano e os movimentos ascendentes do ar favorecem o desenvolvimento de nuvens do tipo Cumulus nimbus (Cb), formando uma banda de nebulosidade no sentido leste/oeste, a qual é de fácil identificação nas imagens de satélites e também através de ROL - Radiação de Ondas Longas emitidas.

NIMER faz a seguinte referência à atuação e à espacialização deste sistema, relatando que no verão e outono, particularmente de janeiro a abril, o centro de ação do

Atlântico é afastado do Nordeste permitindo a descida da FIT até a borda setentrional da Borborema e Araripe e o avanço da mEc até a serra de Ibiapaba, no máximo – nos anos secos. Nos anos úmidos, o centro de ação do Atlântico se retira inteiramente do Nordeste, propiciando o avanço para o mesmo da mEc até a Borborema e Chapada Diamantina e a descida da FIT ultrapassando o Araripe e parcialmente a Borborema, atingindo o limite Pernambuco-Bahia (NIMER, 1964, pg.23).

Segundo MELO (2009), as variações diárias do movimento da posição da ZCIT é muito difícil de prever com precisão. Ela está na maior parte do tempo em direção ao Norte, durante o verão no hemisfério Norte e mais distante da posição norte durante o verão no hemisfério Sul. Devido a essa variação latitudinal, a ZCIT provoca uma pronunciada sazonalidade nas precipitações resultantes sobre a faixa intertropical.

Segundo RAKHECHA (2009), é devido à migração latitudinal do sol entre os trópicos de Câncer e Capricórnio que a ZCIT move-se em direção ao norte ou em direção ao sul durante o ano. Ela ocupa a posição mais ao norte durante julho e a posição mais ao sul durante o mês de janeiro. O momento da sua extrema posição mais ao norte fica próximo do solstício de verão do hemisfério norte por cerca de 3-4 semanas, como também o tempo de sua posição de extremo mais a sul situa-se próximo ao solstício de verão do sul, com um período de cerca de 3-4 semanas.

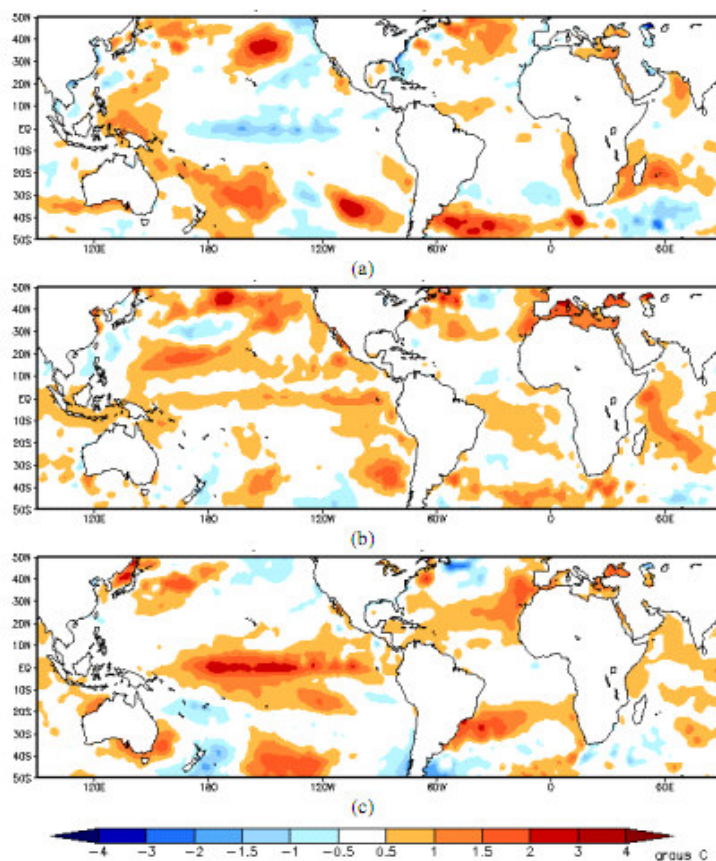
MELO et al., (2009) afirma que essa migração sazonal da ZCIT, associada aos fatores que causam o fortalecimento ou enfraquecimento dos alísios de nordeste e sudeste, tem papel importante na determinação da estação chuvosa do norte da região do Nordeste semiárido. Em anos chuvosos a ZCIT pode chegar até 5° S, como foi observado em 2009 (ver Figura nº 5).

Sobre a costa oeste da América do Sul a excursão normal da sazonalidade da ZCIT abrange somente poucos graus de latitude e são largamente confinados a Colômbia e Equador. Porém, nos anos do aparecimento do fenômeno de El Niño, quando o aquecimento das águas tropicais estende-se em direção sul ao longo da costa e esfriamento de setores do oceano Pacífico, faz com que a ZCIT provoque pesadas chuvas convectivas na costa extremamente árida do Peru e as inundações são comuns.

No documento do INPE, a síntese climática para o ano de 2009 apresenta as variações da TSMs (Figura 6) e mostra que o fenômeno La Niña apresentava fase madura durante o mês de janeiro. A partir de junho houve uma expansão positiva das Anomalias da

Temperatura sobre o mar (ATSMs), o aquecimento das águas nas camadas subsuperficiais, os ventos alísios mais relaxados e a diminuição da pressão atmosférica nesta mesma região. Estas mudanças evidenciaram o desenvolvimento do episódio quente do fenômeno El Niño-oscilação Sul (ENOS), que se estabeleceu nos meses subsequentes, conforme se pode verificar na figura.

Figura 5 - Campos de anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos meses de janeiro (a), junho (b) e novembro de 2009 (c).



(FONTE: CPTEC/INPE).

Percebe-se que as mudanças das ATSM não se verificam de imediato, havendo um interstício de alguns meses para a efetivação desta atividade. A partir de outubro já é possível verificar as tendências das mudanças nas águas do oceano Pacífico e com isso fazer alguma previsão, sempre com o acompanhamento destes registros.

Em decorrência destas mudanças de temperatura das águas no Pacífico, pode-se afirmar que a atividade convectiva sofre efeitos positivos (negativos) com os deslocamentos da ZCIT, normalmente localizada aproximadamente entre 14° N em agosto-outubro e para 2° a 4°S entre fevereiro a abril. Esses deslocamentos estão relacionados aos padrões de

Temperaturas da Superfície do mar (TSM) do Atlântico Norte e Sul, da influência remota das anomalias das TSM's do Pacífico e Ondas de Leste, denominados de ENOS (El Niño e Oscilação Sul). A ZCIT é mais significativa sobre os Oceanos e, por isso, a Temperatura da Superfície do Mar-TSM é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade.

Para o NEB as grandes variações pluviométricas interanuais estão associadas às interações oceano-atmosfera, como as oscilações de TSM sobre os oceanos tropicais, as quais influenciam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, alterando a pluviosidade sobre o Norte do Nordeste (NNE) e o Planalto da Borborema (REPELLI e NOBRE, 1996; NOBRE e MELO, 2001).

2.8 - Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) ou Ondas de Leste

Constituindo-se de ventos que se deslocam com os alísios de leste para oeste as DOLs, no Atlântico Sul, se deslocam desde a costa da África até o litoral leste do NEB (Hastenrath, 1988) e podem ser observados através de imagens de satélites nos campos de vento e pressão.

Os Distúrbios de Leste atuam desde o Rio Grande do Norte até a Bahia durante interstício de maio a agosto, tendo como principais características serem distúrbios existentes tanto no Atlântico Norte e Atlântico Sul. Estão intrinsecamente dependentes da TSM, do cisalhamento dos ventos e dos efeitos das brisas marítimas e terrestres e da orografia que podem intensificar ou dissipar seus efeitos.

Em ocasiões de larga escala o arco ciclônico de fluxos de ventos ocorre dentro da perene atmosfera barotrópico, nas baixas latitudes. O mais comum deste sistema de tempo é o tipo denominado de Ondas de Leste. As Ondas de Leste são as oscilações ou a deformação sinuosa na atividade do padrão de fluxo de ventos. As nuvens convectivas formadoras de tempestades tropicais tornam-se organizadas e pode determinar aumento na intensidade prolongada de períodos de chuvas.

Estes sistemas tendem a mover-se de leste para oeste dentro da zona de atividade dos ventos e maiores precipitações ocorrem quando as ondas de leste passam por ilhas ou margens continentais. Nestas condições o aquecimento da superfície e as rugosidades da paisagem aumentam os movimentos de ascensão e os elementos convectivos se intensificam.

Segundo MACHADO et. al. (2009), os estudos das ondas de leste tiveram início ainda na década de 1970 com a experiência GATE (Garp Atlantic Tropical Experiment). Desses estudos foi possível determinar as principais características das ondas de leste, tais como comprimento de onda, em torno de 2000 a 3500 km; um período de 3 a 5 dias e uma propagação para oeste com uma velocidade de 8m/s.

Quando os DOL's chegam a costa leste do NEB e estes confluem com as Brisas Marítimas, há uma intensificação e podem causar chuvas acima de 100 mm, rajadas de ventos superiores a 50 km/h e penetrarem até 300 km no continente. Muitas vezes esse sistema pode ser observado nas imagens de satélites. Observa-se sobre o oceano aglomerados de nuvens de desenvolvimento vertical rasas, se deslocando em direção a costa leste do NEB e intensificando-se ao atingirem o continente (MOLION e BERNARDO, 2002).

Entretanto, essa região também pode apresentar eventos pluviométricos intensos, resultantes de conjunções entre os sistemas atmosféricos Complexos Convectivos de mesoescala – CCAS e da Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, que por sua vez já é resultante do posicionamento dos VCANS e da persistência de frentes frias. Segundo Nobre (1998), nos anos considerados chuvosos (secos) no NEB a ZCAS situa-se mais ao norte (sul) de sua posição climatológica, durante o mês de verão austral (DJF).

2.9 - Os VCANS e a atuação sobre o NEB

Segundo Ferreira (2009), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANS) são sistemas meteorológicos caracterizados por centros de pressão relativamente baixa que se originam na alta troposfera, se desprendem do escoamento atmosférico associado, sendo quase estacionários ou podendo deslocar-se lentamente tanto para leste quanto para oeste e que também se caracterizam por um tempo de vida de vários dias (FERREIRA et al, 2009, pg 43).

Os VCAN são definidos como sistemas fechados de baixa pressão na escala sinótica que se formam na alta troposfera (Gan e Kousky, 1982). São comumente chamados na literatura de baixas frias, pois apresentam centro mais frio que a periferia. Com o auxílio de imagens de satélite meteorológico, observa-se que os VCAN, em determinadas situações, causam grande precipitação no Sul e Sudeste do Brasil. Normalmente estes vórtices originam-

se no Oceano Pacífico e muitas vezes ao cruzarem os Andes provocam alterações no tempo nessas regiões e no Uruguai e norte da Argentina (CAVALCANTI, 1982).

Quando os VCANs penetram no continente, oriundos do Oceano Pacífico, normalmente ocorre instabilidade e precipitação nos setores leste e nordeste do vórtice. Os vórtices ciclônicos possuem uma vida média que varia consideravelmente, em que duram apenas algumas horas outros mais de duas semanas. Ocasionalmente, os vórtices ciclônicos intensificam-se para baixo na vertical e podem refletir no campo de pressão em superfície.

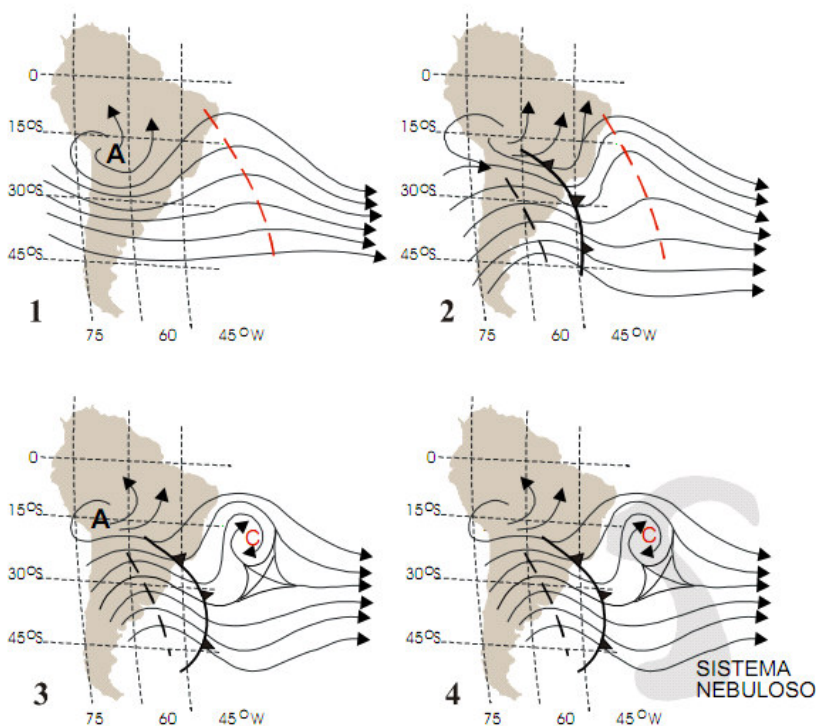
Para compreender melhor o papel deste sistema sobre o regime pluviométrico do Nordeste e parte do Norte do Brasil, é importante levar em consideração sua interação com outros dois sistemas meteorológicos que atuam na América do Sul: a Alta da Bolívia e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

RAO e BONATTI (1987) sugerem que a formação dos VCANs envolve processos termodinâmicos como a liberação de calor latente de condensação e a variação diurna da intensidade do anticiclone sobre o continente sul-americano, além da instabilidade barotrópica. MISHRA, RAO e GAN (2001) ao analisar a estrutura horizontal e a evolução do escoamento de grande escala associadas à presença de VCANs, observaram uma faixa estreita zonal de cisalhamento entre 17,5° e 7,5° S durante o período que antecede a formação do vórtice. Eles sugerem que a instabilidade barotrópica do escoamento associada ao cisalhamento meridional seria um possível mecanismo de formação dos VCANs (citado por FERREIRA et al, 2009, pg. 51).

Durante a estação seca do NEB, o VCAN é o principal produtor de chuva, podendo provocar um acumulado mensal de chuva superior a 300% das normais climatológicas nas regiões localizadas sobre a sua periferia ou contribuir para que o verão seja mais seco e mais quente nas localidades sob o seu núcleo (SILVA, 2002).

Alguns estudos já realizados mostraram que a formação do VCANS (Fig 7) ocorre devido à intensificação da Alta da Bolívia (AB), associada à penetração de sistemas frontais vindos das altas latitudes (Kousky e Gan, 1981; Rao e Bonatti, 1987). Evidenciaram também que a formação dos vórtices tem uma relação direta com o caráter meridional do escoamento médio em 200 hPa, que por sua vez está associado à intensificação da Alta da Bolívia nesse nível de pressão (KOUSKY E MOLION, 1981).

Figura 6 – Formação de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre o Atlântico Sul²



Fonte: Varejão Silva (2006)

Os VCANS, portanto, estão relacionados com a circulação geral da atmosfera, com a Alta da Bolívia (AB), com a posição da ZCAS e a penetração de Frentes Frias do Sul.

2.10 – Frentes frias sobre o NEB

As frentes frias são o segundo mais importante sistema de precipitações. No Brasil as frentes frias atuam sobre todo o ano e afetam mais significativamente as regiões sul e sudeste, sendo responsáveis pelas chuvas e frio no sul do país. Em estudos da década de 70, Kousky (1979) mostrou que a penetração de sistemas frontais e seus remanescentes têm papel marcante sobre a precipitação do NEB. Estes sistemas penetram no NEB durante o ano inteiro, ora organizando ora incrementando a precipitação convectiva, que desempenha um importante papel no máximo de chuvas de novembro a fevereiro em todo o NEB.

Segundo Varejão (2005), todo o continente sul americano é influenciado principalmente por massas de ar polares procedentes da Antártica. Tais massas de ar frias

² (1 a 3) e nebulosidade associada ao sistema. Observa-se o escoamento em 200 hPa (linhas cheias), o eixo dos cavados, a Alta da Bolívia e a posição da Frente fria.

normalmente atingem os estados do sul e sudeste do Brasil no inverno, contribuindo para aumentar a precipitação média das áreas que atravessam. Podem alcançar o nordeste, particularmente a Bahia, e eventualmente são percebidas no Recife, embora bastante modificadas. Em outro ramo de inserção podem chegar até a oeste e sul da Amazônia e provocar as chamadas “friagens”.

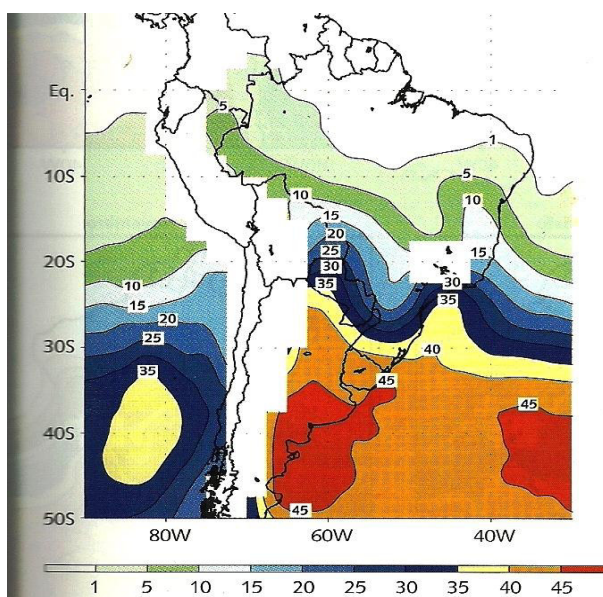
Esses sistemas são transientes e atuam em diferentes regiões do globo e sua importância está no fato de provocarem mudanças significativas no tempo na área de incidência. Quando as frentes avançam para o norte em direção do equador durante a estação do verão, algumas vezes elas interagem com o ar úmido e quente tropical, produzindo convecção profunda, provocando chuvas fortes sobre o continente, causando excessivas precipitações e inundações.

Durante o verão, as frentes frias frequentemente se posicionam ao longo da costa do Brasil, entre São Paulo e Bahia, na região da posição climatológica à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que origina períodos prolongados de chuvas fortes com prejuízos materiais e perdas de vidas humanas.

Segundo Cavalcanti (2009), muitos trabalhos recentes têm sido desenvolvidos, como Oliveira (1986) que estudou a climatologia dos sistemas frontais e da interação com a convecção tropical entre 1975 a 1984; Andrade e Cavalcanti (2004) sobre a climatologia de passagens de frentes frias durante o período de 1980 a 2002 a partir de dados de reanálise NCEP/NCAR. Cavalcanti e Kousky (2003). Nesses estudos foi observada uma diminuição da frequência dos sistemas das latitudes mais altas para as mais baixas.

Cavalcanti (2009), utilizando critérios de reanálises do NCEP/NCAR/CDAS, com resolução de 2,5 x 2,5 para estabelecer uma climatologia para as frentes frias sobre a América do Sul, mostra que o número comporta-se como um gradiente, mostrada na Figura 8. Nesta, a observação de que ao norte de 30° S existem duas regiões onde as passagens de frentes frias são mais frequentes: uma é ao leste do Andes, entre o norte da Argentina e o oeste da bacia Amazônica. Na média, entre uma e cinco frentes chegam ao oeste da Amazônia a cada ano, com aproximadamente três frentes alcançando o equador. A outra região é ao longo da costa leste do Brasil, onde na média 5 a 120 frentes chegam até 15° S a cada ano (CAVALCANTI, 2009; pg.139).

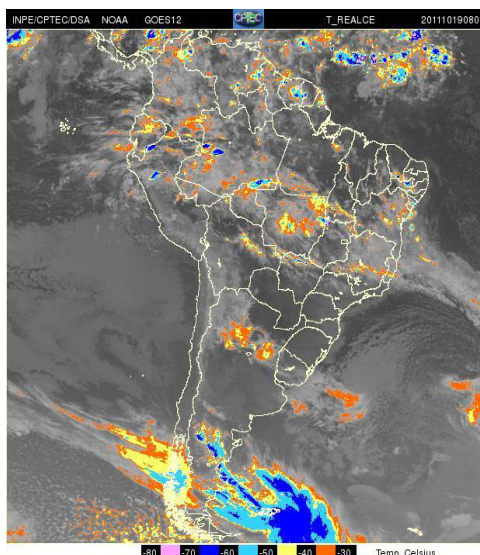
Figura 7 - Número médio de passagens de Frentes frias de 1975 a 2005



Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2009)

Nesse contexto é possível observar que de 1 a 5 passagens acontece acima de 5° S, o que vem de certa forma corroborar as análises anteriores, dado que essas massas de ar podem até chegar a Recife (PE), mas bastante modificadas, embora em algumas conjunções podem ser vista em imagens de satélites as frentes ocupando grande parte da região do NEB, como figura abaixo.

Figura 8 - Imagem GOES -12 19/10/2011



Fonte – CPTEC/INPE

As diferenças observadas podem estar associadas aos critérios tomadas como método objetivo para determinar a passagem de um sistema frontal frio, baseado em variação da Pressão ao Nível do Mar (PNM), variação de temperatura em 925 hPa e força e sentido do

vento em 925 hpa. Os seguintes critérios podem ser aplicados a cada ponto de grade: 1) uma diminuição de temperatura de 925 hPa de, pelo menos 2° C; 2) um aumento da PNM de, pelo menos, 2 hPa; 3) existência de ventos de sul de, pelo menos, 2 m s⁻¹ (CAVALCANTI, 2009; pg.138)

2.11- As Linhas de Instabilidades

Longas e estreitas linhas de intensas células de tempestades são designadas como Linhas de Instabilidades ou LI's. Elas são também usualmente associadas com grandes ciclones na escala sinótica e associadas a frentes (as zonas limitantes, separando massas de ar de diferentes características de temperaturas, ventos e umidade). O impacto local imediato das LI's pode ser extenso devido aos tornados, granizos ou danos por rajadas de ventos na superfície. Elas são mais frequentes sobre os continentes e usualmente ocorre no aquecimento do ar úmido à frente das frentes frias.

Para a América do Sul, as LI's estão associadas à circulação da brisa marinha e o aquecimento terrestre. Desenvolvem-se com frequência na costa norte-nordeste e podem se propagar para o interior do continente, causando quantidades apreciáveis de precipitação (COHEN et al, 2009). CAVALCANTI (1982) e COHEN (1989) estudaram as LI's com respeito à sua variação latitudinal e embora tendo diferenças no que se refere à caracterização das diferentes classes de LI's, observou-se que as LI's na América do Sul acompanham o deslocamento sazonal da ZCIT.

Para CAVALCANTI (1982), as LI's acompanham o deslocamento latitudinal da ZCIT e em sua classificação observou que as LI's fortes ocorrem no começo do ano até meados de março. A partir de abril, predominam LI's com média intensidade e depois de setembro as LI's de intensidade fraca tornam-se mais frequentes. A relação das LI's fortes está vinculada à ZCIT e sua influência sobre o litoral norte brasileiro durante os meses de março e abril, onde em média é o seu local de formação.

A principal ameaça de tempo das LI's é o fenômeno localmente produzido pela intensa tempestade. As Linhas de Instabilidades movem-se rapidamente, com ventos em altitudes que brevemente afetam somente uma determinada localização. Taxas de chuvas podem ser muito intensas, mas a duração da chuva usualmente não é suficientemente longa para causar inundações locais. Na figura 6, abaixo, se vê uma linha de instabilidade em junho

de 2011, influenciando o tempo no litoral norte Nordeste, com incidência para Fortaleza e Natal.

Figura 9 – Ação de Linha de Instabilidades sobre o litoral norte nordestino.



Fonte: CPTEC.INPE

Uma exceção ocorre quando as LI's tornam-se aproximadamente estacionárias. Isto pode acontecer se as linhas tornam-se orientadas aproximadamente paralelas aos ventos de altitudes. Esta situação permite intensas tempestades dentro das LI's e movem-se sobre a mesma região, liberando quantidades variadas de chuvas (algumas maiores que 300 mm) que se precipitam em poucas horas.

As LI's estacionárias, portanto, tendem a um grande perigo de “flash flood” local e sérias ameaças à vida e às propriedades. A natureza perigosa destes eventos é aumentada devido a tendência da estacionaridade se verificar durante o período noturno, quando o avisos de inundação quase sempre não são recebidos.

2.12 – Os Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM's

Os Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM's são largos, organizados por sistemas de nuvens convectivas onde faltam distintas estruturas lineares das linhas de instabilidade. Os critérios originais de classificação desses sistemas levam em conta o tamanho, a forma e o tempo de vida. Quanto ao tamanho, o sistema deve apresentar cobertura de nuvens com temperaturas no infravermelho menores que -32 C° e com uma área de

100.000 Km². Pode-se observar o formato circular e cobertura de grande área na figura abaixo:

Figura 10 – Complexos Convectivos de Mesoescala



Fonte : CPTEC.INPE

O tempo de vida é caracterizado quando as duas condições descritas na classificação do tamanho ocorrem por um período superior a 6 horas. As estruturas de precipitações inseridas dentro dos CCM's podem ser muito complexas, consistindo de grupos de tempestades intensos de leve para moderadas chuvas. Muitas destas estruturas estão usualmente presentes simultaneamente em um maduro CCM's.

As influências das condições sinóticas na formação dos CCMs foram analisadas em vários estudos como em GUEDES (1985), CAVALCANTI (1982), VELASCO e FRITSCH (1987), SILVA DIAS (1989,1999) nos quais a característica marcante foi a presença simultânea do Jato de Baixo Nível – JBN e do Jato de Altos Níveis – JAN.

Os CCMS podem ser vistos como sistemas em que ocorre uma série de interações das mais complexas e que levam a sistemas convectivos com intensidades que se destacam no cenário global. A região onde fica a bacia do Prata é apontada por NESBITT, ZIPSER e CECIL (2000) como tendo os CCMs mais intensos do globo. Esse sistema tem uma grande importância sobre o ciclo hidrológico da região e se constitui em um desafio para a sua previsão (SILVA DIAS, 2009)

Os CCMs ocorrem sobre muitas áreas do globo em ambas as latitudes (média e baixa), onde os ingredientes chave estão presentes. Essas regiões tendem a estar distantes da trajetória da escala sinótica de tempestades de ventos oriundos de serras e são usualmente afetadas por Jatos de Baixos Níveis, que são fortes influxos de ventos de perto da superfície e alta umidade nas baixas latitudes que providenciam abundante vapor d'água para o combustível da convecção.

Os CCMs distribuem taxas de chuvas e quantidades similares àqueles produzidos pelas linhas de instabilidade. Estas características estão frequentemente em movimentos vagarosos, então eles constituem uma ameaça de pesadas chuvas e inundações rápidas. Eles também produzem granizos, altos ventos e frequentes relâmpagos.

2.13 - As Teleconexões - El Niño e La Niña

O termo padrão de Teleconexão ou simplesmente Teleconexão, diz respeito a um padrão recorrente e persistente de anomalias de uma determinada variável, que pode ser a pressão e circulação de grande escala que cobrem grandes áreas geográficas. Esses padrões são também conhecidos como modos preferenciais de variabilidade de baixa frequência, que podem persistir por várias semanas ou meses ou ainda podem tornar-se dominantes por vários anos.

As primeiras evidências de teleconexões surgiram nas análises de dados de pressão em superfície disponíveis no final do século XIX. Duas décadas mais tarde, Walker (1924) identificou três grandes oscilações atmosféricas: a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), a oscilação do Pacífico Norte (OPN) e a Oscilação Sul (OS), esta possuindo centro de ação no hemisfério sul. A OS voltou a ser estudada quando Bjerknes (1969) apresentou explicações dinâmicas e termodinâmicas às bases estatísticas já conhecidas e descreveu a associação das variações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico com a OS.

Sabe-se que as estiagens e as chuvas em excesso por períodos seguidos, em várias partes do mundo, incluindo o estado da Paraíba, estão associadas aos fenômenos de escala global, como o El Niño e La Niña, que afetam a Circulação Geral da Atmosfera. A intensidade e a fase dessa oscilação são observadas pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico equatorial e pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), o qual em 1932 Walker e Bliss definiram como: a) positivo, quando a pressão está abaixo da média ao norte da

Austrália e acima da média no anticiclone do Pacífico Sul, mais a leste; b) negativo, no caso inverso (Xavier, 2001). Nos anos em que predomina a fase negativa (fase baixa) da Oscilação Sul (OS), ocorre os chamados anos de (EN) El Niño, enquanto durante a fase positiva (fase alta) da OS ocorrem os anos denominados (LN) La Niña (SILVA, 2007, pg. 24).

As relações existentes entre as precipitações acima da média e o fenômeno La Niña, bem como as secas com o fenômeno El Niño são estudadas há bastante tempo e existe de fato relações muito profundas entre o volume precipitado em La Niña e as secas correspondentes ao período El Niño. Como se sabe, o El Niño é um fenômeno atmosférico – oceânico que se caracteriza por um aumento significativo das águas no Pacífico tropical que afeta o clima no mundo, as correntes de ar e as precipitações das regiões tropicais e das regiões de latitudes médias. A La Niña representa esse fenômeno com características opostas a El Niño, pois se caracteriza por resfriamento anormal das águas no Pacífico tropical.

As pesquisas sobre as bacias oceânicas e a influência sobre as precipitações mostraram que em anos de El Niño, quando as águas superficiais da bacia do Pacífico em torno do Equador e sobre o lado centro-leste estão mais aquecidas, toda a convecção equatorial também se desloca para o leste, alterando assim o posicionamento da Célula de Walker. Devido à continuidade da circulação atmosférica, o ar quente sobre aquela região é empurrado originando uma célula descendente sobre o Oceano Atlântico, próximo à região Nordeste do Brasil (NEB) e à Amazônia oriental (FERREIRA, A. G et al, 2005).

Dependendo da intensidade dessa célula de circulação e de sua fase de ocorrência, pode haver inibição da formação de nuvens e descida da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, conseqüentemente, pode haver deficiência das chuvas na região do NEB. Dessa forma, o fenômeno El Niño é um dos responsáveis pela redução das chuvas na região norte do Nordeste do Brasil (NEB). Em outra vertente, muitos outros trabalhos mostram a influência do Oceano Atlântico Tropical na distribuição das chuvas nas regiões tropicais do continente Sul-Americano, principalmente sobre o setor norte do Nordeste do Brasil (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1996; UVO et al. 1994).

O fenômeno El Niño (aquecimento acima do normal das águas do oceano Pacífico Equatorial), por exemplo, dependendo da intensidade e período do ano em que ocorre, é um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos, principalmente quando acontece conjuntamente com o dipolo positivo do Atlântico (Dipolo do Atlântico: diferença

entre a anomalia da TSM'S na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), que é desfavorável às chuvas.

O fenômeno La Nina (resfriamento anômalo das águas do oceano Pacífico) associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas) é, normalmente, responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região. Segundo o boletim divulgado pelo INPE,

“durante o mês de março de 2008, as condições atmosféricas e oceânicas refletiram uma atuação moderada do fenômeno La Nina na bacia do oceano Pacífico tropical. As temperaturas da superfície do mar permaneceram abaixo da média desde o oeste da linha de Data até aproximadamente 120°W, porém, com menor intensidade relativamente ao mês anterior. Por outro lado, as anomalias de temperatura da superfície do mar continuam mais aquecidas ao longo da costa ocidental da América do Sul”.

Essas anomalias vêm sendo monitoradas há bastante tempo. Dados de 1950 até os dias atuais podem ser encontrados em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>, para o monitoramento destas áreas através do ONI - Oceanic Niño Index. Como se pode observar na tabela abaixo, este índice tem como base um limite de $+ / - 0,5^{\circ}$ C para anomalias de TSM na região Niño 3.4 (5° N – 5° S e 120° S e 170° W), com base no período de 1971-2013. Vários padrões de teleconexões foram identificados por Wallace e Gutzler (1981) em anomalias mensais durante o inverno do HN. Foram identificados cinco padrões de teleconexão, chamados de Pacífico-América do Norte (PNA na sigla em inglês), Atlântico Oeste (AO), Atlântico Leste (AL), Eurásia (EU) e Pacífico Oeste (PO).

Algumas teleconexões que ocorrem no HN também foram associadas à variabilidade da precipitação sobre o Nordeste do Brasil. Namias (1972b) relacionou a variabilidade da precipitação no NEB com a atividade ciclônica na região da Terra Nova e Groenlândia durante o inverno e a primavera no HN. Essa é a região de um dos centros de ação da OAN – Oscilação Atlântico Norte. O outro centro dessa oscilação influi na circulação da Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN), a qual, por sua vez, pode influenciar na intensidade dos alísios e, então, na ZCIT do Atlântico.

Um estudo sobre a posição e a intensidade da ZCIT e sua relação com a OAN, com possíveis efeitos na precipitação do Nordeste do Brasil na estação chuvosa, foi realizado por Sousa e Cavalcanti (2006,2009). Padrão intenso da OAN ou deslocamento dessa configuração para sudeste ou nordeste influencia numa posição da ASAN e na posição da ZCIT. (CAVALCANTI, 2009, pg.321).

A análise da tabela, ainda que superficialmente, revela que o ano de 2008 começa a apresentar variações frias das TSMs a partir de junho de 2007, a intensificação de La Niña, os valores em azul, tornam-se maiores e permanecendo até final de junho de 2008. Enquanto que a confirmação de El Niño de 2009 começa com a anomalia positiva das TSMs a partir julho/agosto de 2009 e evolui para janeiro até maio de 2010.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa considera as idéias de Monteiro (1969, 1971 e 2000) no que concerne aos métodos investigativos no estudo do clima, em que sugere o emprego da técnica da análise rítmica como meio de investigação dos tipos de tempo em sua sucessão habitual e extrema, condição que estabelece o ritmo climático, paradigma da climatologia geográfica brasileira. Um roteiro de procedimentos é necessário para adoção da análise rítmica nos estudos climáticos sob o viés dinâmico e um deles inclui a escolha de período “padrão” anual, estacional, mensal ou episódico que expressem um quadro dinâmico das situações concretas, demonstrando a amplitude de ocorrência dos tipos de tempo habituais ao lado daqueles afetados por irregularidades na circulação com capacidade de produzir situações adversas.

De acordo com MONTEIRO (1971), o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico, pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo.

Uma vez que o estudo de um período do ano ou de um ano padrão pode apresentar resultados diferentes do habitual, este estudo foi realizado a partir da análise dos principais elementos do clima partindo de uma série, São Gonçalo, código 82689 do INMET entre os anos 2000 a 2012, período suficiente para caracterizar a dinâmica dos sistemas atmosféricos e da circulação regional.

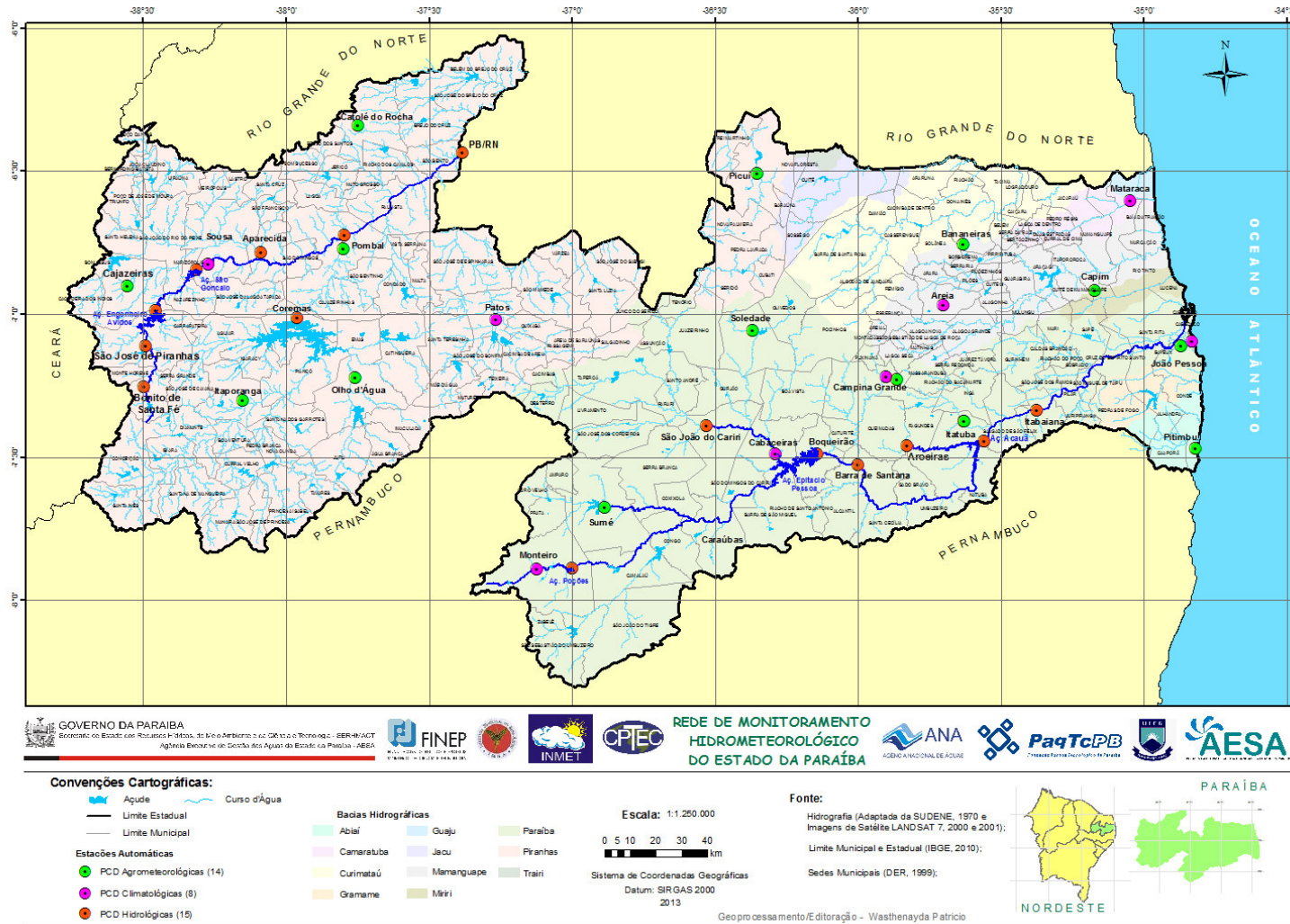
Com o propósito de realizar a busca dos anos padrões para a análise rítmica, foram coletados dados pluviométricos dos postos dos municípios de Aparecida, Bom Jesus, Cachoeira dos Índios, Cajazeiras (Açude Lagoa do arroz), Lastro, Santa Cruz, Santa Helena, Sousa, Sousa/São Gonçalo, São Francisco, Antenor Navarro, Açude Pilões (Antenor Navarro), Triunfo e Uiraúna, totalizando 14 postos disponibilizadas pela AESA – Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

Destes postos apenas 8 (oito) têm séries completas dos anos de 2000 a 2012, são eles Cachoeira dos Índios, Cajazeiras /Lagoa do /Arroz, Sousa, Triunfo, Santa Cruz, Uiraúna e Antenor Navarro

Devido a precariedade dos dados diários relativos aos postos existentes na área da bacia, será utilizada a metodologia de MONTEIRO (1971) em sua integralidade, dado que apenas duas estações dispõem de dados diários, São Gonçalo e Aparecida (PCO Hidrológica) e muito recentemente, a implantação da estação agro meteorológica de Cajazeiras ainda em implantação, conforme a Figura 11.

Destes postos apenas 8 (sete) têm séries mensais e anuais completas dos anos de 2000 a 2012, são eles Cachoeira dos Índios, Cajazeiras /Lagoa do /Arroz, Sousa, Triunfo, Santa Cruz, Uiraúna e Antenor Navarro.

Figura 11 – Mapa Rede de Monitoramento Hidrometeorológico da Paraíba



Os registros pluviométricos mensais de Aparecida, Bom Jesus, Açude Pilões, Lastro e Santa Helena apresentavam falhas nos dados de 2007, 2008 e 2009 e foram expurgados da análise. Uma vez que havia lacunas, foi necessário realizar interpolações e correções de dados para alguns postos nesse período. Ainda foi possível diminuir as lacunas destas séries com dados anuais (2007), disponibilizados pela Agência Nacional da Água – ANA.

De modo que para eleição dos anos padrão (habituais, chuvosos e secos) na Bacia do Rio do Peixe, foram considerados os totais anuais e mensais da série pluviométrica dos postos Bom Jesus, Cachoeira dos Índios, Cajazeiras (Açude Lagoa do arroz), Lastro, Santa Cruz, Sousa, Sousa/São Gonçalo, São Francisco, Antenor Navarro, Triunfo e Uiraúna, disponibilizados pela AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Estes dados foram organizadas em planilhas mensais e anuais e calculadas as normais para este período segundo a metodologia apresentada por Silva (2005).

Para a determinação dos períodos seguiu-se as orientações de Sant’Anna Neto (1990), Souza (1998) e Silva et al (2005): 1) cálculo dos totais anuais e sazonais e obtenção dos seus valores normais e de dispersão e 2) classificação da precipitação anual e sazonal com base nos valores totais de dispersão percentual em cinco classes, conforme sugere Sant’ Anna Neto (1990):

- Ano Chuvoso: com pluviosidade elevada, com índices superiores a 25% da média normal;
- Ano Tendente a Chuvoso: com pluviosidade ligeiramente elevada, próxima à média normal, com desvio entre +12,5% a 25%;
- Ano Habitual: com pluviosidade normal, cujo total pluvial situa-se dentro dos desvios médios padrão, com variação de -12,5% a +12,5%;
- Ano Tendente a Seco: com pluviosidade ligeiramente reduzida, próxima à média normal, com desvio entre -25% a -12,5%;
- Ano Seco: com pluviosidade reduzida, com índices inferiores a - 25% da média normal.

A pesquisa envolveu etapas tendo iniciado com a pesquisa bibliográfica dos autores nacionais e em língua inglesa. Iniciou-se com a busca por imagens Landsat, Cberes, Alos e imagens de radar SRTM – Shuttle *Shuttle Radar Topography Mission*, com resoluções melhores que aquelas distribuídas inicialmente que correspondiam a 90 metros.

As informações sobre o substrato físico contou com o aporte de leituras de geógrafos como ABSABER (1969), ANDRADE (1986), TRICART (1977), MABESOONE (1972), CARVALHO (1982), JATOBÁ (1994), FERNANDES (1972), SOUZA (2009).

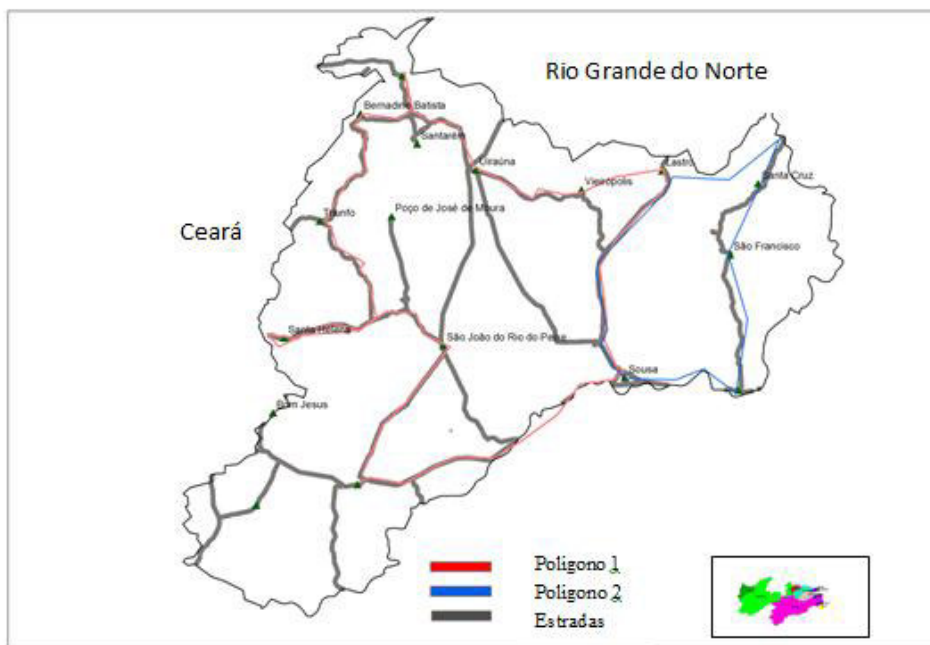
Em segunda etapa, a pesquisa bibliográfica se voltou para os aspectos mais específicos das temáticas transversais ao objeto estudado. A leitura e pesquisa de clássicos como TUCCI (1993), GUERRA (1989), CRISTOFOLETTI (2010), FLORENZANO (2008), VENTURI (2009), MONTEIRO (2003), MENDONÇA (2009), LANG (2009), BAKER (1988), CAVALCANTI (2009), SHELTON (2009), HARTMAN (1994), DINGMAN (2009), XAVIER (2001) e de outros autores, teses e dissertações que estão dentro da complexa temática das inundações.

Foi realizada incursões na totalidade da área para coleta de fotos e pontos georreferenciados de altitudes, por meio de GPS Etrex Garmin Vista HCx, coletadas para melhorar a qualidade da acurácia vertical na definição das curvas de nível para a confecção do MDE.

Na visita ao baixo curso que vai de São João do rio do Peixe passando por Sousa até Aparecida, se coletou além das informações sobre a geologia e os tipos e ocupação dos solos, a coleta de pontos georreferenciados e coleta de informações “in situ” sobre o conhecimento vivenciado pelos moradores residentes dentro da planície de inundação e praticamente no leito maior do rio do Peixe.

Foi determinado um circuito que compreendeu um polígono (nº 01) iniciado em Cajazeiras, a seguir Marizópolis – Sousa – Lastro – Uiraúna – Poço Dantas – Bernardino Batista – Triunfo – Santa Helena – São João do Rio do Peixe e fechando em Cajazeiras. O objetivo principal desta incursão foi coletar e confirmar informações sobre a formação geológica, a geomorfologia, os tipos de solos, as altitudes encontradas e a observação dos impactos sobre o ambiente das ações da agricultura, da marcha da urbanização em cada cidade e dos desmatamentos no trecho superior ou alto curso do rio do Peixe. Dessa forma, foi possível observar a contribuição dos riachos Cacaré, Morto I e II e ainda da irrigação à jusante do açude Lagoa do Arroz.

Figura 12 – Cartograma dos percursos de levantamento de dados



Outro polígono de reconhecimento para coleta de informações e procedimentos que se inicia em Sousa e depois Aparecida, subindo para o norte São Francisco, São Cruz, parte do município de Lastro e Vieirópolis e fechando em Sousa.

Esse trajeto teve como objetivos observar além dos dados já mencionados, a contribuição do riacho Santa Rosa, a coleta de informações sobre o uso deste importante curso d'água para a irrigação, retirada de areia e do desmatamento das margens com os impactos causados e georreferenciamento de áreas de abandono de leito, alças de meandros e alargamentos do leito maior.

3.1 – Elaboração da cartografia básica e temática

Para a confecção dos cartogramas e mapas utilizou-se os recursos disponíveis nos órgãos oficiais tais como: www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/, <http://www.cptec.inpe.br/>, <http://srtm.csi.cgiar.org/if.fail>, http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30/, <http://www2.ana.gov.br/>, <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>, <http://www.nasa.gov/>, <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>, <http://www.inpe.br/>, www.dsr.inpe.br/topodata, <http://www.google.com/earth/index.html>.

Para a análise morfométrica da Bacia do rio Peixe, utilizou-se um shapefile disponível em www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/ - AESA – Agencia Executiva de

Gestão das Águas do Estado da Paraíba, para obtenção das variáveis de área, perímetro, declividade, índice de sinuosidade, densidade de drenagem e muitos outros parâmetros que são facilitados pela obtenção precisa e ganho de tempo através da aplicação do geoprocessamento. Os cálculos dos coeficientes de compacidade, coeficiente de forma e Índice de Circularidade, Densidade de drenagem, Coeficiente de manutenção, Extensão média do escoamento superficial e Declividade do canal foram feitos utilizando-se as formulas que aparecem na Figura 13 abaixo.

Figura 13 – Formula para cálculos morfométricos

Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Coeficiente de forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$	Densidade hidrológica (Dh, rios/km ²)	$Dh = \frac{n}{A}$
Relação de relevo da bacia (Rr, %)	$Rr = \frac{\Delta a}{L}$	Densidade de drenagem (Dd, km/km ²)	$Dd = \frac{\sum L}{A}$
Lado maior retângulo equivalente (L, km)	$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$	Lado menor retângulo equivalente (l, km)	$l = \frac{P}{2} - L$
Coeficiente de manutenção (Cm, m ² /m)	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$	Extensão média (I, km) do escoamento superficial	$I = \frac{A}{4 \sum L}$
Índice de Sinuosidade (Is, %)	$Is = \frac{100(L - E_v)}{L}$	Índice de Sinuosidade (Is, m/m)	$Is = \frac{L}{dv}$
Declividade do canal (álveo) (S, m/km)	$S = \frac{\Delta H}{L}$	Tempo de concentração (Giandotti, horas)	$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$

Onde: P = perímetro; A = área; L = comprimento do canal principal; n = número de canais; E_v = comprimento do canal em linha reta ou dv = distância vetorial; Δa = amplitude altimétrica da bacia, ΔH = diferença de altitude (canal) e \bar{H} = altura média (cota média – cota mínima).

Também foi consultado para a análise dos índices morfométricos as cartas topográficas da SUDENE, folha SB 24 – SE, Jaguaribe – SE digitalizada em escala de 1: 500 000 e as cartas plani-altimétricas na escala de 1: 100 000 que correspondentes às folhas: SB.24-Z-A-I – Orós; SB. 24-Z-A-II – Pau dos Ferros; SB.24-Z-A-III – Catolé do Rocha; SB.24-Z-A-IV Cajazeiras; SB.24-Z-A-V – Sousa; SB.24-Z-A-VI – Pombal.

Na classificação da ordem de drenagem em STRAHLER (1954) e SHREVE (1966; 1967) utilizou-se o programa HYDROFLOW 0.9, desenvolvido na Universidade do Estado do Rio de Janeiro pelo **LABGIS** – Lab. de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

As imagens interferométricas de radar da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 90 metros disponíveis em <http://srtm.csi.cgiar.org/if.fail> sofreram interpolação por *krigagem*, conforme Valeriano (2003), esta correção possibilita uma melhor resolução na visualização da drenagem, notadamente para áreas de terreno plano e depois foram

comparadas as imagens SRTM, com resolução de 1 sec, distribuídas em http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30/.

Foi gerado um modelo de drenagem no ArcGis 10, com as ferramentas Spatial Analyst Tools – Fills – Flow Direction – Flow Accumulation – Stream Order – Stream to Feature e dessa forma, modelado um mapa de drenagem para comparação com a drenagem digital obtida na AESA. Ainda no Arcgis 10, foi possível extrair o mapa de declividade e o mapa hipsométrico.

Os arquivos shapefiles relativos a geologia, geomorfologia e solos foram obtidos na CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais em seu banco de dados e que depois de sofrerem um processamento através da ferramenta “Merge”, em seguida o processo “Dissolve” foi processada a fusão de dois shapefiles de polígonos SB 24 Jaguaribe lito e SB Sousa, para completar os dados relativos a esse último.

Tabela 2 – Dados de imagens utilizados no geoprocessamento na base estatística

Imagens	Fonte	Ano	Orbita	Ponto	Data
LANDSAT	LANDSAT_1_MSS	1973	232	065	09/19
	LANDSAT_2_MSS	1980	232	065	08/22
	LANDSAT_5_TM	2005	216	065	22/09
ALOS	LED-ALAV2A226603740-O1B2R_U – IBGE	2010			26/10
SRTM	ASTGTM_S07W038 ASTGTM_S08W039 ASTGTM_S07W039				
CPTEC INPE	http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp				
CARTA SINÓTICA	http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm .				
INMET	BDMEP – INMET Estação: GONCALO – PB; 82689	Latitude:- 6,833 Longt: -38,316			1985 a 2012
ANA	Estação ANTENOR NAVARRO – PB; 638032	Latitude: - 6,735 Long: -38,448			1985 a 2004

Para a análise climatológica foi utilizada a série da Estação Climatológica de São Gonçalo, código 82689, Latitude: -6,833 S e Longitude: -38,316 W, de 1985 a 2012, disponibilizados pelo INMET. Esta série permitiu a elaboração da análise rítmica, pois traz dados diários de 00:00 e 12:00 GMT e pode ser feita a confecção dos gráficos do ritmo dos tipos de tempo no programa Ritmo Análise, que contém todos os registros necessários para o cruzamento das informações entre os sistemas e as ocorrências de precipitações diárias.

A confecção dos gráficos de distribuição da precipitação para os anos de 1984 a 2012 foi realizada com a utilização da série da estação Antenor Navarro – PB, código 638032 com Latitude: -6,735 S e Long: -38,448 W. Os dados são diferenciados quanto as precipitações, pois as estações estão separadas por aproximadamente 40 Km e os registros de precipitação são transmitidos de forma diferente. Dessa forma, é possível perceber que há discrepâncias entre os gráficos relativos ao ano de 2008, por exemplo. No mês de maio em S. João do rio do Peixe o registro é de 370,7 mm e em São Gonçalo apenas 133,7 mm. A opção de permanecer com os dados da estação de São Gonçalo foi devido a inexistência de dados diários na estação de Antenor Navarro.

Para a análise rítmica é necessário dados de uma série meteorológica, com registro diário dos elementos do clima para aquela área, tais como a umidade relativa, a pressão média atmosférica, as temperaturas mínima, média e máxima, precipitação total e direção dos ventos. A inserção no programa pode ser feita diretamente ou copiando e colando da série que deve está em tabela com a extensão “dbf”. Um último dado refere-se à massa de ar atuante, correspondente para a hora de 12:00 GMT, analisada nas cartas sinópticas disponibilizadas pela marinha do Brasil em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm> e também nas imagens GOES 12 na banda 4 do infravermelho.

A seguir, com a confecção dos gráficos, utiliza-se a planilha para determinar o interstício de tempo de ação de determinada massa ou sistema atmosférico, que será analisado por meio de uma planilha diária da incidência desse sistema e do tempo em que este sistema permaneceu sobre a área. Ao final, gera-se gráficos que mostram o percentual de cada sistema, desse modo obtendo-se as respostas quanto a gênese do fenômeno climático da área sob análise.

Os registros fotográficos foram coletados em diversas fontes e muitos foram gentilmente cedidos por pessoas e moradores das áreas atingidas pelas inundações e de pessoas que estavam diretamente envolvidas em socorrer os desabrigados.

Os procedimentos e técnicas de geoprocessamento utilizados foram apreendidos nos tutoriais disponíveis em blogs que tratam de disseminar a utilização do geoprocessamento e sensoriamento remoto, tais como:

www.labgeo.blogspot.com/;

<http://fossgisbrasil.com.br/links/>;<http://andersonmedeiros.wordpress.com/>;

<http://geoluislopes.blogspot.com/>;<http://processamentodigital.blogspot.com/>;
<http://geotecnologias.wordpress.com/>;<http://geoparalinux.wordpress.com/>;
<http://www.ideaplus.com.br/> .

No processamento digital das imagens para a obtenção dos dados foi utilizado o software Global Mapper 12.1 e Arcgiz 10, para a geração das curvas de nível, dos dados vetoriais, tais como comprimento total do rio do Peixe, geração das ordens e números de canais, dados para cálculos hipsométricos e densidade de drenagem.

O processamento digital das imagens exigiu a utilização de outros programas de SIG's como o Gvsig 12, para o processamento das imagens SRTM na modelagem da drenagem relativa a bacia hidrográfica do rio do Peixe, devido a facilidade oferecida por esse software em integrar etapas de preenchimento das anomalias existentes e das etapas seguintes pela utilização da plataforma Sextante.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE

Analisar e compreender um objeto exige que se faça inicialmente um completo levantamento de suas características, de sua origem, de suas relações com o ambiente para apresentar um quadro, ainda que sem grandes inserções verticalizadas, seja amplo o bastante para possibilitar uma visão delimitada deste objeto.

Os aspectos geoambientais traçam o quadro geológico, geomorfológico, climático, pedológico, das relações administrativas relativas a bacia hidrográfica do rio do Peixe, a cobertura vegetal e os principais tipos encontrados, de modo que do quadro seja possível extrair as primeiras informações que realçam a problemática das inundações ou ainda que comecem a desvendar o quadro físico onde o fenômeno acontece.

Esse capítulo faz uma retrospectiva geológica da área objeto, iniciando com uma breve caracterização da estrutura geológica, do ponto de vista morfoestrutural, remontando ao início onde a porção de superfície, que hoje compreende a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, estava unida em um grande bloco continental. Tratará também da superposição relativa aos compartimentos de relevo consoantes com a estrutura, que evoluiu para definir as formas produzidas em diversos tipos climáticos desde o Cretáceo até os dias atuais, onde essas formas são esculpidas pelas ações antrópicas do uso solo e dos movimentos antrópicos da urbanização e organização espacial do meio semiárido.

4.1 – Evolução morfoestrutural

A porção que constitui o território do que se denomina Nordeste Brasileiro está situado na extremidade nordeste da América do Sul e no meio-norte da placa tectônica sul-americana, totalmente situada no hemisfério sul. A evolução dos relevos desta porção está vinculada aos fenômenos de tectogênese e aglutinação dos blocos antigos que formaram os grandes continentes: Atlântica (ROGERS, 1996 citado por NEVES, 1999) Rodinia, Pangea e Gondwana.

Segundo Brito Neves et al. (1999), a primeira aglutinação se formou pela colisão de vários blocos ou massas continentais individuais que resultaram na formação do

supercontinente Atlântica, de datação aproximada de 2,2 Ga a 1,8 Ga e que se fragmentou por volta de 1,8-1,6 Ga.

O segundo processo de aglutinação continental parece ter se produzido no período compreendido entre 1,45 e 0,97 Ga. Essa aglutinação ocorreu ao longo de suturas desenvolvidas sobre uma extensão total da ordem de 20.000 km², representadas em todos os continentes atuais e seu resultado foi a formação do super-continente Rodínia.

Entre 1,0 Ga e 750 Ma, uma nova fissão desagregou o supercontinente. Esse ciclo de 500 Ma conhecido como Ciclo de Wilson dispersou essa massa continental (e.g. Brito Neves, 1999). Para o Nordeste brasileiro não se tem notícias, até o momento, de rochas com idade Rodínia, devido a ausência de fronteiras com o bloco formado pela América do Sul.

Do terceiro episódio de aglutinação (880 e 550 Ma) resultou a formação do supercontinente Pannotia e que originou para a América do Sul, o período chamado de “Orogênese Brasileira”. CLAUDINO SALES et al. (2002) relata que:

A Orogênese Brasileira representa o mais importante de todos os eventos tectônicos na evolução geológica do Brasil (SCHOBENHAUS et al., 1984). De amplitude continental, ela amalgamou o bloco continental Gondwana, formado pelas massas continentais que hoje representam a África, a América do Sul, a Austrália, a Índia e a Antártica (TROMPETTE, 1994). Ao curso dessa orogênese, esses crátons se afrontaram em uma colisão oblíqua do tipo himalaiana (CABY et al., 1995), produzindo nos limites da colagem, dentre outros, um largo sistema de deformação e de dobramentos conhecido pelo nome de “Província Borborema” (Almeida, 1967; Almeida et al., 2000), a qual pertence os estados do Nordeste brasileiro.

Com o Pannotia (600 Ma – 550 Ma) ocorre a estruturação da base para a instalação de todo o relevo nordestino. Para Almeida *et al.* (1977, 1984) as rochas pré-cambrianas ao norte do Craton São Francisco compõem a “Província Borborema”, enquanto as rochas sedimentares do Fanerozóico pertencem à Província Costeira e Margem Continental.

A Província Borborema compõe o segmento crustal de uma extensa faixa fortemente afetada pela Orogênese Brasileira (600 ± 100 Ma), denominada Faixa Trans-Saara, originada pela colisão entre os Crátons do Oeste Africano/São Luís e São Francisco/Congo- Kasai, que constituiriam massas continentais consolidadas em tempos pré-brasileiros (JARDIM DE SÁ, 1994).

Seus limites são definidos a norte e a leste pela Margem Continental Atlântica, onde está recoberta pelos sedimentos costeiros meso-cenozóicos, a sul pelo Craton São

Francisco e a oeste pelas rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Parnaíba (Amaral, 2000).

A Orogênese Brasileira marcou profundamente o panorama litológico pré-cambriano do Nordeste, reconhecido nas rochas metamórficas de fácies anfibolítica e granulítica, além de migmatitos e granitóides diversos (JARDIM DE SÁ (op. citada)).

A estruturação regional da província é constituída por um mosaico de blocos diversos de idade arqueanos a paleoproterozóicos de natureza gnáissico-migmatítico, capeados ou separados entre si por sequências supracrustais deformadas, metamorfasadas e segmentadas por extensas zonas de cisalhamentos transcorrentes, associadas ao volumoso plutonismo neoproterozóico, gerado durante a atuação da Orogênese Brasileira. Depósitos de molassas correlatas a esta orogênese desenvolveram-se localmente em *grabens* no interior da província e nas margens dos Crátos São Francisco e São Luís (AMARAL, 2000).

Ao final do Paleozóico, por volta de 260 Ma, aconteceu a quarta e última fusão continental conhecida com a orogênese que deu origem ao supercontinente Pangea (Windley, 1995). Esse episódio parece não ter sido muito expressivo para o Nordeste, em razão da relativa estabilidade de Gondwana.

Assim, após a orogênese Brasileira, a Província Borborema parece ter sido submetida a um período de calma tectônica (Almeida, 1967), o qual durou até o Mesozóico quando iniciaram os processos responsáveis pela tectogênese do Pangea, da formação do Oceano Atlântico, da individualização da América do Sul como um continente à parte e pela formação da margem continental setentrional do Nordeste brasileiro.

A abertura do Atlântico Norte decorreu da separação (última fissão) da América do Sul/África em relação a América do Norte e estacionou aproximadamente até os limites do Escudo das Guianas (MARINHO e MASCLE, 1987; SZATMARI *et al*, 1987).

Por sua vez, a abertura do Gondwana ao sul se faz de maneira mais tardia, correspondendo a um movimento divergente de direção leste-oeste, caracterizado por uma rotação horária da América do Sul em relação à África. Esse processo de tectogênese teve fim no início do Cenomaniano e tendo as águas do Atlântico norte se juntado às águas do Atlântico sul durante o Albiano e somente permitindo a circulação plena no pós turoniano (SOUZA, 2006).

Foi durante o Neocomiano (145 Ma-124 Ma) que a abertura se propagou vinda do sul em direção ao norte. Apesar deste episódio magmático a abertura estacionou ao nível das zonas de falha W-E de Pernambuco e de Patos, delimitando a Província Borborema ao sul.

Decorrente deste movimento, neste momento histórico-geológico, ocorre que uma parte da deformação incide no segmento setentrional de forma tal que entre o Neocomiano e o Barremiano uma série de rifts intracontinentais são abertos na Província Borborema (POPOFF, 1988; MATOS, 1987, 1992; CHANG et al., 1988; MATOS, 1992), citado por CLAUDINO SALES et al. (2000).

Esses rifts continentais não evoluíram para a formação de oceanos e posteriormente sofreram preenchimentos de sedimentos oriundos da ação erosiva sobre a Cadeia Brasileira, em seguida sofrem subsidência térmica (Cretáceo Inferior e o Neocomiano) e assim permanecendo estáveis até as reativações ocorridas durante o Cenomaniano. Estudando as bacias marginais brasileiras, ASMUS e PONTE (1973) concluíram que o tectonismo nessas bacias persistiu até o Terciário, principalmente ao longo de falhas reativadas.

Essas reativações ocorreriam por movimentações isostáticas desde o final do Cretáceo até o Plioceno-Pleistoceno. HASUI *et al.* (1978b) em seu estudo sobre as bacias trafo gênicas continentais do sudeste brasileiro, relacionaram os depósitos sedimentares daquela região à tectônica regional desenvolvida desde o Ciclo Brasileiro (Proterozóico Superior), culminando com a implantação de bacias continentais no Terciário Superior e/ou Pleistoceno pela reativação de falhas antigas.

4.2 – A província Borborema

A província Borborema atualmente vem sendo entendida como uma complexa faixa colisional pela convergência de placas tectônicas, incluindo a do São Francisco e do Oeste africano. A Província Borborema apresenta evolução proterozóica com história e consolidação culminando no Ciclo Brasileiro (BRITO NEVES et al, 2005).

O segmento central da província está balizado por dois expressivos lineamentos (Patos ao norte e Pernambuco ao sul), são zonas de cisalhamento subparalelas de direção geral E-W que dão forma retangular a esta zona central.

Estes lineamentos estão afastados entre si em média de 150 km e podem ser seguidas da faixa costeira até a Província Parnaíba, no Nordeste Ocidental, com diversas feições estruturais e morfológicas associadas ao longo destes marcantes tratos retilíneos (BRITO NEVES et al, 2005).

A Província Borborema, limitada a noroeste pelo Cráton São Luiz, a oeste pela Bacia do Parnaíba e a sul pelo Cráton do São Francisco é um complexo mosaico de blocos crustais, aparentemente amalgamados em consequência de processos geológicos que se realizaram em várias etapas ao longo de amplo intervalo de tempo, mas que devem sua configuração final à Orogenia Brasileira, ocorrida no final do Neoproterozóico e início do Fanerozóico.

Em uma classificação macro, são reconhecidos três amplos domínios geológicos na Província Borborema, os domínios setentrional e meridional, separados pelo domínio da zona transversal (BRITO NEVES *et al.* 2000).

No domínio setentrional, além do Cráton São Luiz, no extremo noroeste, são reconhecidos vários subdomínios (Médio Coreaú ou Noroeste do Ceará, Ceará Central, Orós-Jaguaribe, Rio Grande do Norte) com características próprias que os diferenciam dos vizinhos, tendo a separá-los importantes zonas de cisalhamento, algumas de dimensões continentais, como é o caso do Lineamento Transbrasiliano.

O domínio meridional é constituído pelo maciço Pernambuco-Alagoas e as faixas Sergipana e Riacho do Pontal. As unidades da Província consistem de terrenos arqueanos a mesoproterozóicos, compostos por gnaisse-migmatitos-granitos os quais representam maciços ou icroplacas e faixas dobradas.

O esboço geotectônico da Província Borborema tem suscitado vários modelos e divisões em faixas, maciços, terrenos, domínios e blocos caracterizados por uma evolução tectônica específica. A divisão em faixas vestigiais, marginais e maciços medianos foi proposta por Brito Neves (1975) com referência ao ciclo brasileiro. SANTOS *et al.* (1984) e BRITO NEVES (1983) apresentam outro tipo de subdivisão em domínios estruturais e distinguindo os domínios Sergipano, Extremo-Nordeste, Transnordestino, Cearense e Médio Coreaú.

Todas as unidades são intrudidas por granitóides brasileiros e, somando-se a isto, tem-se o desenvolvimento de megazonas de cisalhamento, tais como o Lineamento Transbrasiliano, localmente denominado Sobral-Pedro II, tido como continuação do

Lineamento Kandi, que é reconhecido como sutura neoproterozóica no Continente Africano. Há também remanescentes de depósitos paleozóicos e pequenos riftes mesozóicos, geneticamente relacionados às bacias da margem continental.

Superimposto ao arcabouço pré-cambriano há um conjunto de feições resultantes da ruptura continental, que resultou na implantação do Oceano Atlântico e na separação da América do Sul da África a partir do Cretáceo. Entre elas destacam-se as bacias da margem continental (Ceará, Potiguar, Pernambuco-Paraíba, Alagoas, Sergipe) e as bacias do interior (Araripe, Rio do Peixe, Iguatu, Icó, etc.), cuja estruturação valeu-se da retomada de antigas linhas de fraqueza pré-cambrianas ou da implantação de novas meso-cenozóicas (CORDANI et al. 1984, BRITO NEVES et al. 1984).

4.3 – Arcabouço geológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.

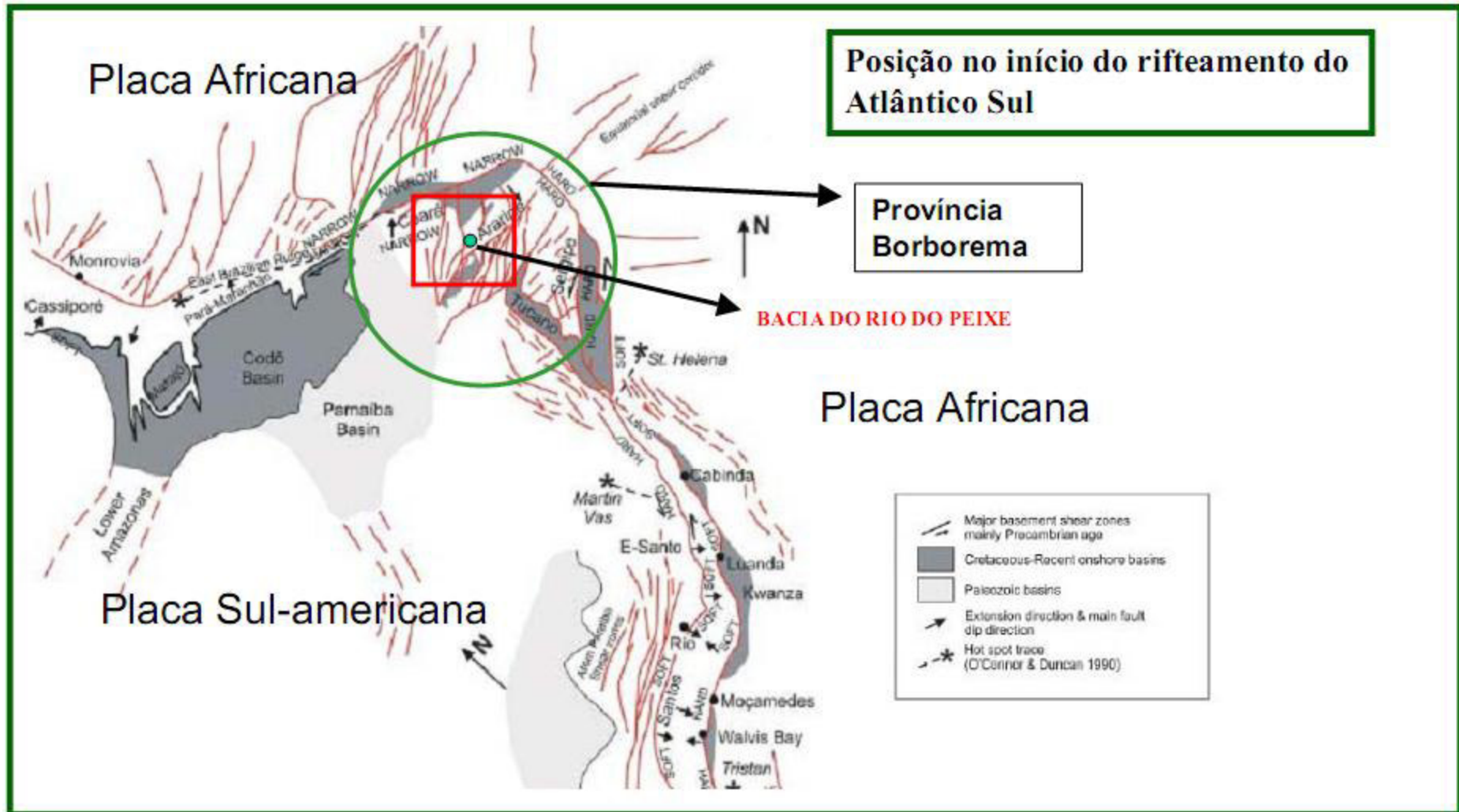
A tectônica distensional que deu origem aos processos de rifteamento no nordeste brasileiro está associada à reativação mesozóica da Tectogênese Wealdeniana atuando sobre rochas gnáissicas e supracrustais arqueanas, paleo e neoproterozóicas, deformadas durante o Brasiliano.

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe é resultante destes movimentos crustais em que os rifts abortados foram preenchidos por sedimentos em diversas épocas, com alternância de períodos de subsidência e soerguimentos e novo entulhamento, dado observado na litologia apresentada.

Sedimentos clásticos intracontinentais preencheram esta bacia rift durante o Neocomiano. MATOS (1992) Arai et al. (1989) não observaram evidências da sedimentação jurássica presente na Bacia do Araripe, denotando o caráter relativamente mais recente da Bacia do Rio do Peixe (fase sin-rifte II – Cretáceo Inferior).

Com uma área superficial de aproximadamente 1.300 km², toda ela localizada na região oeste do Estado da Paraíba, a bacia sedimentar do rio do Peixe situa-se no limite tectônico entre as faixas Orós-Juaribe e Seridó e ao Domínio Granjeiro, pertencentes à Província Borborema.

Figura 14 – Contexto Geotectônico – Posição da Bacia do rio do Peixe no início do riftamento.



Nas décadas de 80 e 90 foram feitos estudos de Gravimetria, Magnetometria e Sísmica de Reflexão nas pequenas bacias interiores. Os anos 80 se iniciaram com a aplicação de métodos geofísicos, inseridos na crescente pesquisa de petróleo nas bacias interiores do Nordeste, que culminaram com a comprovação da existência deste recurso fóssil e toda estratégia para a sua exploração.

Os trabalhos de FRANÇOLIN (1987 e 1992) e LIMA FILHO (1991) reconhecem este diagnóstico sobre a origem da bacia sedimentar do rio do Peixe. Ambos fazem uma identificação dos eventos tectônicos que originaram e desenvolveram a bacia, inclusive caracterizando os seus reflexos na sedimentação que a preencheu.

LIMA FILHO (*op. Cit.*) destaca que a importância das falhas transcorrentes ou das zonas de cisalhamentos na geração das bacias sedimentares interiores é ponto convergente para todos os autores. Segundo este autor, estas zonas de cisalhamentos são passíveis de mobilidade no caso, recebendo a denominação de Zonas Móveis Transcorrentes (ZMT), com movimento relativo de blocos devido à ação de esforços de distensão combinados com esforços compressivos, caracterizando condições de, respectivamente, transtensão e transpressão (HARLAND, 1971 *in* LIMA FILHO (*op. Cit.*)).

Esse autor adota, ainda, um modelo tectônico proposto por Fortes (1986), segundo o qual a região situada entre a bacia sedimentar Potiguar, ao norte e o megacisalhamento de Patos (de movimentação dextral), ao sul, apresenta-se dividida por grandes falhas de cisalhamento, de direção NE, de arrasto, igualmente dextrais, mas também de movimentos verticais, modelo este denominado de *Tectônica de Teclas*. Por este modelo, estas falhas agiram na formação, no desenvolvimento e após a deposição dos sedimentos na bacia.

A bacia do rio do Peixe teria sido formada sob um regime de esforços compressivos ENE/WSW, associados aos esforços extensivos NNW/SSE, onde os acidentes de direção E/W e /WNW representam as falhas sintéticas sinistras e aquelas de direção NE/SW as falhas sintéticas dextrais. A rotação da América do Sul em relação à África no movimento de separação teria um sentido horário e o polo de rotação situar-se-ia no interior do continente, abaixo do lineamento Patos e ao oeste da bacia do rio do Peixe, ao contrário de outros autores que o localizam na costa (FRANÇOLIN, 1992).

4.4 – Geologia da bacia do rio do Peixe

As bacias rifts, denominadas bacias interiores mesozóicas do Nordeste, são representadas pelas bacias do Araripe, Rio do Peixe, Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos e Icó, entre outras de menor porte, distribuídas entre os estados do Ceará, Pernambuco e Paraíba. Este agrupamento de coberturas sedimentares de pequeno a médio porte representa os resquícios de uma bacia mesozóica pretérita de dimensões regionais, que sofreu uma intensa ação erosiva (PONTE et al., 1991).

Segundo MATOS (1992), a principal fase do sistema de rifteamento (fase sin-rifte II) ocorreu durante o Neocomiano-Barremiano, com o desenvolvimento dos principais rift valleys, com eixo de afinamento crustal NE-SW e associados a um extenso fraturamento da crosta superior.

Esse rifteamento, atuante no nordeste brasileiro, foi responsável pela formação da série de bacias intracratônicas do Vale do Cariri (Bacias do Araripe, Icó, Iguatú, Malhada Vermelha, Lima Campos e Rio do Peixe), além do graben principal da porção emersa da bacia Potiguar (CASTRO e MEDEIROS, 1997).

De acordo com CAVALCANTE (1999), a bacia Rio do Peixe está inserida no limite entre três domínios estruturais distintos, denominados faixas Orós-Jaguaribe (FOJ), Seridó (FS) e Domínio Granjeiro (DG) pertencentes à Província Borborema de Almeida (1967).

A faixa Orós-Jaguaribe (FOJ) é representada pelas sequências supracrustais meso e neoproterozóicas que sobrepõem as rochas arqueanas e paleoproterozóicas dos Complexos Jaguaretama e Iracema (Cavalcante, 1999). Inicialmente, a Faixa Orós é composta por rochas metassedimentares e metavulcano-clásticas, o Grupo Orós de Sá (1991), seguido da unidade de augen gnaisses da Suíte Magmática Serra do Deserto, sobreposta ao Complexo Jaguaretama.

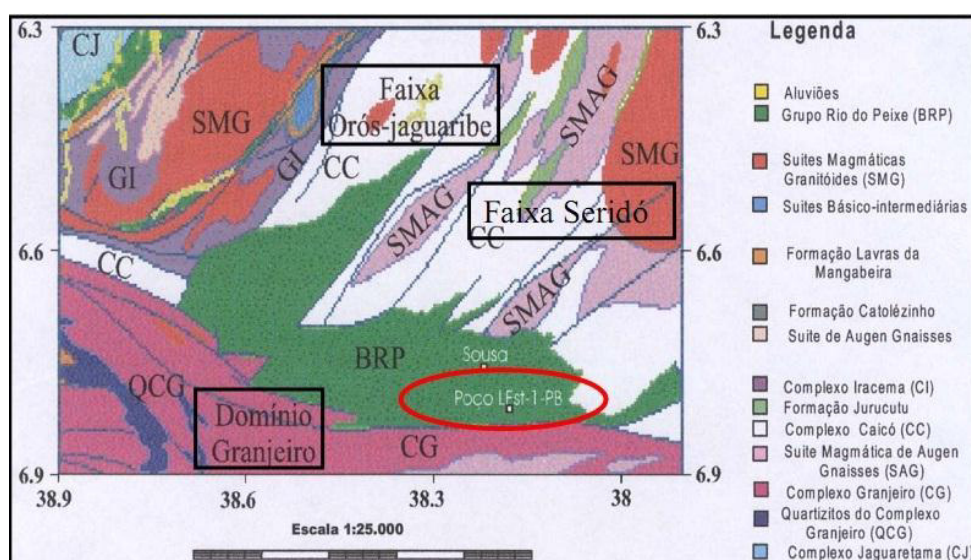
Na porção norte da bacia do Rio do Peixe, os corpos graníticos e granodioríticos associados ao complexo basal são geralmente grossos e porfiróides, contendo no seu interior zonas de granitos finos a médios equigranulares e zonas de migmatitos de estrutura nebulítica e anatexítica, principalmente nas bordas (BRANDÃO, 2005).

O Domínio Granjeiro está bem representado na porção sul da área, a sul da falha de Malta, apresentando foliação com trend regional E-W. A SW este domínio mostra-se complexamente estruturado em pequenos blocos tectônicos. Em parte com marcantes

diferenças em seus litocomponentes, oscilando desde fatias de ortognaisses cinzentos com composição tonalito-ranodiorítica dominantes até supracrustais metassedimentares pertencentes à formação Lavras da Mangabeira.

Esta formação é composta por conglomerados, quartzitos e metapelitos, com metamorfismo nas fácies xisto verde e anfibolito (CABY et al., 1995). As Suítes Magmáticas Granitóides (SMG) e Básico-Intermediárias neoproterozóicas-eopaleozóicas constituem edifícios de dimensões variadas, desde diqueformes a batolíticas, tendo como encaixantes rochas de diversas unidades (CPRM e UFCG, 2007), como pode ser observado na figura seguinte.

Figura 15 – Geologia regional da Bacia Sedimentar do rio do Peixe.



Fonte – Cavalcante, 1999. Adaptado de ANP, 2009.

Estas suítes apresentam relações de contato magmático-intrusivas e/ou controladas por zonas de cisalhamentos. O arcabouço estrutural da bacia sedimentar do rio do Peixe é formado por 3 semi-grabens basculados para S e Sudeste (SE), associados a uma larga zona de cisalhamento sinistral, provocando o aparecimento de três regiões principais de subsidência, consideradas como sub-bacias (CAVALCANTE, 1999).

A Bacia do Rio do Peixe divide-se nas sub-bacias Brejo das Freiras, Sousa e Pombal. A geometria interna da bacia é formada por um conjunto de meio-grabens assimétricos (FRANÇOLIN et al., 1993). O controle do arcabouço estrutural destas sub-bacias foi exercido pelo arranjo dos elementos tectônicos preexistentes, tais como as falhas de Malta (E-W) e Portalegre (NE-SW).

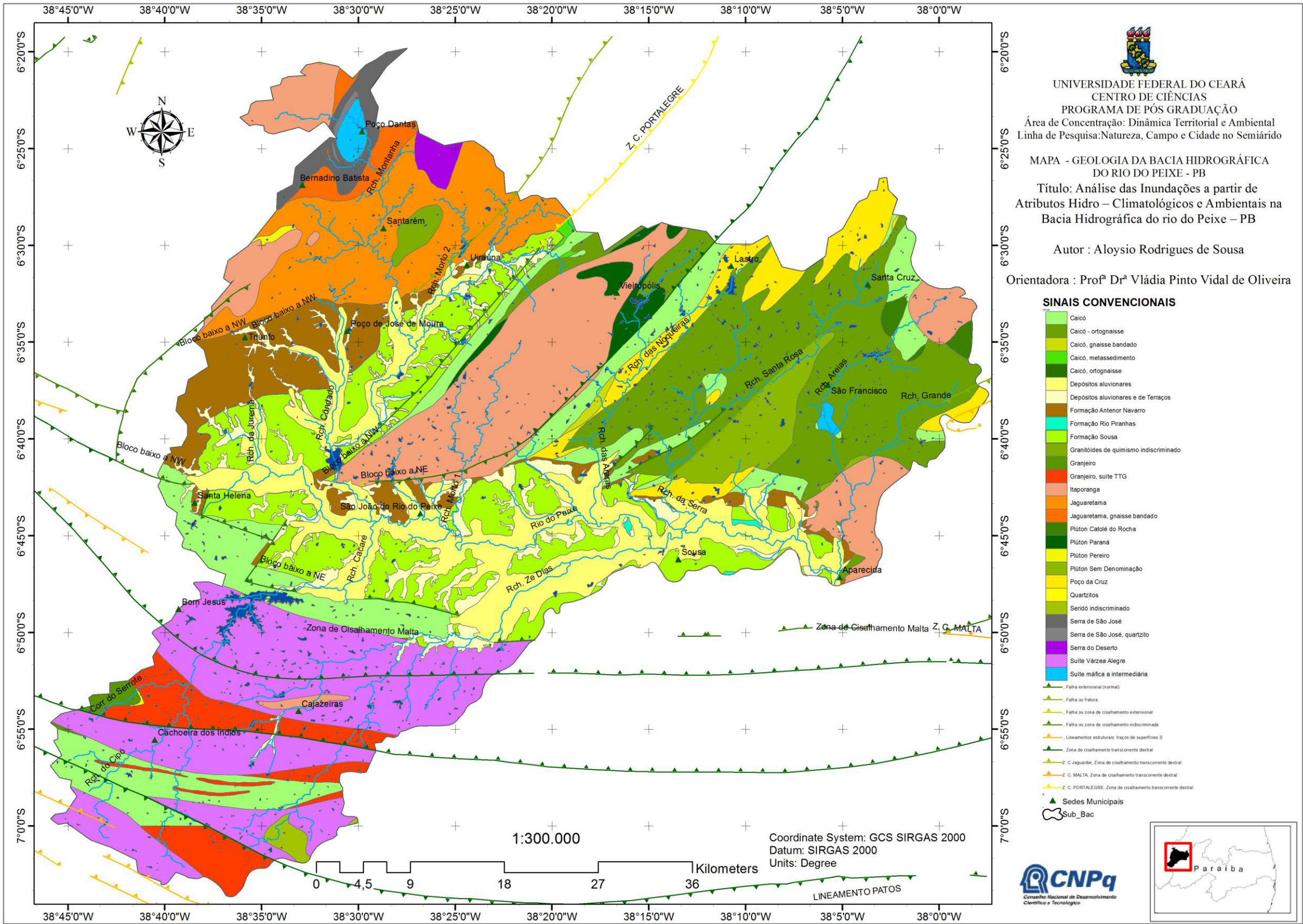
A compartimentação estrutural da sub-bacia Brejo das Freiras encontra-se associada à zona de inflexão da Falha de Portalegre. A borda SE da sub-bacia apresenta mergulho forte para NW, com o topo do embasamento atingindo profundidades de até 1.900 m na porção central do graben. Os limites W e NW da sub-bacia, obtidos pela modelagem gravimétrica, estendem-se a alguns quilômetros além dos contatos superficiais da cobertura sedimentar.

A sub-bacia de Sousa tem seu eixo principal orientado segundo a direção E-W da Falha de Malta. Dois depocentros podem ser observados na porção sul da sub-bacia, com profundidades em torno de 1.700 m a oeste, e 1.100 m próximo à cidade de Sousa, separados por um alto do embasamento cujo topo encontra-se a 700 m de profundidade. Em direção ao flanco norte, as espessuras dos sedimentos diminuem gradativamente até os limites superficiais da sub-bacia (CPRM e UFCG, 2007).

O batólito granítico da Serra Mata do Coco, aflorante a leste da Falha de Portalegre entre as duas sub-bacias, provoca uma distorção no mapa de profundidades, acusando a presença dos sedimentos mesozóicos nesta área de rochas cristalinas. Françolin et al. (1994) apresentam duas seções esquemáticas da bacia do Rio do Peixe nas quais o comportamento estrutural do topo do embasamento é concordante com os resultados da modelagem gravimétrica realizada. Estes autores basearam-se, principalmente, em dados geológicos de superfície e nos resultados dos levantamentos gravimétricos de RAND (1984).

O mapa geológico da bacia do rio do Peixe adaptado para as análises deste trabalho mostra o complexo arranjo geológico e estrutural que controla a paisagem, definindo a drenagem e os aspectos relativos ao relevo. Pode-se observar as falhas de Portalegre e a falha de Malta que vai definir o escoamento do rio Peixe.

MAPA 2 – Geologia da bacia do rio do Peixe



4.5 – A estratigrafia da bacia sedimentar do rio do Peixe

A estratigrafia da Bacia Sedimentar do rio do Peixe foi dividida por Françolin et al. (1994) da base para o topo nas formações Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas. A Formação Antenor Navarro é composta na base por conglomerados de grãos imaturos, passando gradualmente em direção ao topo a grãos finos e micáceos intercalados com argilitos, caracterizando uma passagem gradual dos sistemas de leque aluvial, fluvial típico e à lacustre. Essas rochas sedimentares foram depositadas diretamente sobre o assoalho cristalino, num regime de desenvolvimento fluvial contemporâneo às primeiras atividades tectônicas.

A Formação Sousa encontra-se no centro da BHRP, sendo caracterizada por uma sequência de rochas supracrustais (metassedimentos e metavulcânicas), metamorfisadas nas fácies xistos verde a anfíbolito. O trend regional de foliação é NE-SW, limitado à oeste pela falha Portalegre e sul pela falha Malta.

A Formação Sousa foi dividida em duas unidades, superior e inferior. Na unidade superior predomina uma sequência arenosa com pelitos subordinados e na inferior verifica-se uma notável inversão, com domínio de siltitos e folhelhos. A unidade superior possui maior área de expressão nas bacias de Brejo das Freiras e Pombal, enquanto que a inferior predomina na porção central da Sub-bacia Sousa.

A Sousa inferior está bem representada na localidade de Passagem das Pedras (conhecida como Vale dos Dinossauros, situado 4 km a noroeste de Sousa-PB), onde dominam lamitos, argilitos e folhelhos marrom escuro, apresentando estratificações planas-paralelas, marcas de ondas e gretas de contração em abundância, além de pegadas de dinossauros (ver Figura16). Os sentidos de paleocorrentes mais expressivos naquele local são para sudeste e sudoeste.

Figura 16 – Pegadas de dinossauro em Sousa- PB



(Formação Sousa) que serviram de estimativas iniciais para a datação do neocomiano. Fonte: ANP (2009)

A Formação Sousa é a unidade de maior distribuição geográfica na Bacia do Rio do Peixe, ocupando cerca de 70% da área das sub-bacias Sousa e Pombal e 50% da Sub-bacia Brejo das Freiras. Caracteriza-se pela predominância de siltitos e folhelhos vermelhos amarronzados, intercalados com arenitos finos (calcíferos) a médios, além de margas e calcários.

Essa formação possui uma espessura máxima de 800 metros na sub-bacia Sousa, podendo atingir um pouco mais na Sub-bacia Brejo das Freiras, onde as profundidades do pacote sedimentar chegam a superar os 1900 metros (BRASIL/DNPM, 1970 e NOGUEIRA et al. 2004 citado por CPRM e UFCG, 2007).

A Formação Sousa é constituída por argilitos intercalados com níveis carbonáticos com vários níveis fossilíferos de icnofósseis de dinossauros, o que caracteriza uma planície de inundação ou um sistema fluvial meandrante e lacustre pouco profundo durante um período de relativa calma tectônica. E no topo da coluna estratigráfica tem-se a Formação Rio Piranhas, composta por conglomerados de matriz argilosa, caracterizando a deposição final do lago, ligada a uma sucessão de atividades tectônicas.

A Formação Rio Piranhas representa a unidade superior do Grupo Rio do Peixe, tendo ocorrência restrita à porção sul da Sub-bacia Sousa, onde possui cerca de 100 metros de espessura de acordo com o poço estratigráfico LF-01-PB (BRASIL/DNPM, 1970), podendo atingir até 300 metros de espessura (SRIVASTAVA e CARVALHO, 2002).

É composta predominantemente por arenitos grossos a conglomeráticos, feldspáticos e líticos, mal selecionados, com coloração cinza claro ou marrom avermelhado, possuindo intercalações de arenitos médios a finos e siltitos. Geralmente apresentam estratificações cruzadas acanaladas de médio porte e, mais raramente, marcas de onda. O sentido dominante das paleocorrentes é para norte.

4.6 – Geomorfologia da Bacia do Rio do Peixe

O relevo é decorrente da estrutura geológica, dos processos operantes e do tempo (DAVIS, 1899). As forças internas determinariam a estrutura; a forma da superfície seria consoante com seu arranjo interno; a altitude dependeria da intensidade do soerguimento; o ataque dos processos externos às rochas implicaria, com o tempo, mudança da forma inicial; e a velocidade dos processos seria inicialmente moderada passando a rápida até o máximo, decrescendo lentamente até o mínimo.

Em outra abordagem, Penck (1953), tendo como referência a obra *Die morphologische analyse*, preocupa-se essencialmente com três elementos: os processos endogenéticos e exogenéticos, e os produtos resultantes de ambos, que correspondem às formações superficiais e às feições geomorfológicas. As feições geomorfológicas resultantes dos processos exogenéticos são objeto de pesquisa indutiva. Quanto às formações superficiais, as relações estratigráficas dos depósitos correlatos formados simultaneamente, a espessura e a forma como foram depositados, representam registros de grande significado para a Geologia, evidenciando movimentos diastróficos, e para a Geomorfologia, formalizando o conceito de depósitos correlativos na análise das formas de relevo. (IBGE, 2009, pg 22).

MESCERJAKOV (1968), baseado em Penck conceitua a morfotectura como o elemento de ordem superior mais importante do relevo da terra, condicionado pelas forças tectônicas, segundo as interações com os outros fatores de formação do relevo. As morfoestruturas correspondem aos elementos do relevo de ordem mediana, de aspecto complexo, sobre a superfície das morfotecturas.

A proposta de Penck foi seguida por grandes pesquisadores, como Mescerjakov (1968) e Gerassimov e Mescherikov (1968), que a utilizaram como base conceitual para análise e classificação do relevo, sugerindo os conceitos de morfotectura, morfoestrutura e

morfoescultura, fundamentados no resultado de interação das forças endógenas e exógenas, como um novo instrumento de análise geomorfológica.

Os trabalhos de Tricart (1976; 1982) e Bertrand (1968) enquadram a Geomorfologia no âmbito da Geografia Física. Dentro do conceito de georrelevo de Kugler, trabalha-se com a essência da forma, sua dinâmica e o papel que o relevo representa, em face da ação do homem. Tricart propõe a análise integrada do meio ambiente e Bertrand expressa a compreensão do relevo na interação com os outros elementos físico, biológico e antrópico, dentro do conceito de paisagem (SUERTEGARAY, 1999 citado por IBGE, 2009).

No ano de 1969, o professor Aziz Ab'Saber, fundamentado nos postulados da Escola Germânica, propôs os três níveis da pesquisa geomorfológica, registrando uma grande contribuição a esse campo. Ele estabeleceu três níveis de abordagem: 1) Compartimentação topográfica regional e caracterização morfológica (destaca a morfologia pela comparação dos níveis topográficos). 2) a estrutura superficial da paisagem (ênfatisa a morfogênese, com a relação entre os depósitos correlativos e as condições climáticas). 3) Processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais e a fisiologia da paisagem (Florezano, 2008).

Atualmente os estudos da geomorfologia são enfatizados na morfologia e na morfodinâmica, cujas variáveis têm uma aplicação mais direta nos estudos ambientais voltados para o planejamento do uso da terra. Mas, a Geomorfologia trabalha com outras variáveis tais como a morfogênese e a morfocronologia.

Rossi (1992) fez uma proposta de compartimentação do relevo em seis níveis taxonômicos, com base na morfologia e na gênese, ele propôs a classificação taxonômica do relevo que se apoia fundamentalmente no aspecto fisionômico das diferentes formas e tamanhos de relevo, baseado na gênese e na idade dessas formas, tendo em vista o significado morfogenético e as influências estruturais e esculturais no modelado.

A classificação em táxons se dá da seguinte maneira:

1º táxon: Unidades Morfoestruturais. É a maior forma de relevo, sua idade e história genética são mais antigas que as Unidades Morfoesculturais esculpidas em seu interior. Exemplo: Bacia Sedimentar do Paraná.

2º táxon: Unidades Morfoesculturais. São de dimensões inferiores às das Unidades Morfoestruturais, e com idade bem menor. Exemplos: Planalto Paranaense, Depressão Periférica paulista.

3º táxon: Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Estas retratam um determinado aspecto fisionômico decorrente das influências dos processos erosivos mais recentes e posteriores àqueles que esculpiram os planaltos e depressões. Exemplos: Padrão em morros, Padrão em colinas.

4º táxon: Tipos de formas de relevo. Referem-se a cada uma das formas de relevo encontradas nas Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Exemplo: Em um Padrão em morros, cada morro que faz parte desse padrão possui características que o diferencia dos demais.

5º táxon: Tipos de Vertentes. Representa os tipos de vertentes contidas em cada forma de relevo, sendo assim, de gênese e idade mais jovens. Exemplos: vertentes côncavas, convexas, aguçadas, etc.

6º táxon: Formas de processos atuais. Refere-se às formas de relevo bem menores e muito mais recentes, que surgem ao longo das vertentes por processos geomórficos e até mesmo por ação antrópica. Exemplos: sulcos, ravinas, voçorocas.

A bacia hidrográfica representa uma unidade de análise fundamental na Geomorfologia por se constituir na superfície de coleta e recipiente de armazenagem da precipitação, configurando o sistema através do qual a água e os sedimentos são transportados para o oceano ou lago interior. Sua utilização como recorte espacial básico para os estudos ambientais tem sido proposta por muitos autores, tendo em vista que as alterações decorrentes das interferências humanas sobre o ambiente refletem na bacia hidrográfica como um todo.(IBGE, 2009).

Do ponto de vista natural, a análise das bacias hidrográficas deve ter início com a escolha de parâmetros capazes de compor um quadro significativo do comportamento físico deste sistema. Destacam-se aqueles voltados às análises hidrológica e geomorfológica. Alguns possibilitam gerar informações passíveis de utilização em generalizações sobre as bacias, como é o caso das análises morfométricas. O conjunto de análises morfométricas é de

fundamental importância para o reconhecimento da espacialidade do sistema, entre outros, quanto às características da área e da rede de drenagem.

O relevo da BHRP – Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe apresenta-se movimentado ao norte, onde se encontra a nascente do rio do Peixe, com altitudes acima de 850 metros na serra do Padre, município de Bernardino Batista. Ao sul uma formação linear disposta no sentido de Leste – Oeste, de altitudes em torno entre 600 e 700, chegando a picos de 800 metros na Serra de Santa Catarina, forma os contrafortes em que se encaixa o rio do Peixe, seu contribuinte do rio Piranhas-Açu.

Na parte oeste altitudes menos elevadas separam a bacia pelos divisores que se encaminham para o rio Jaguaribe e as bacias de Icó e Iguatu no Ceará. A abertura a leste, onde se encontra o exutório da bacia e ligação com o rio Piranhas se faz numa altitude de 203 metros, nas proximidades da cidade de Aparecida.

De acordo com o arcabouço estrutural já apresentado, a área em epigrafe exhibe uma interação que se revela em quatro grandes feições geomorfológicas:

(I) A bacia sedimentar ao centro;

II) Os relevos altos da serra do Padre em Bernardino Batista a NW e a S/SW os ombros de rifts da linha de falha, nos relevos que constituem a serra de Santa Catarina;

III) A E/NE os contrafortes dos relevos residuais, serras baixas e superfícies dissecadas que são os Pedimentos, situados entre o domínio das serras altas e os tabuleiros que cercam a planície fluvial;

IV) A planície de inundação margeando os lados do canal da drenagem principal, o rio do Peixe, onde estão localizadas as cidades de São João do rio do Peixe e Sousa.

4.6.1 - A bacia sedimentar do rio do Peixe

O relevo da bacia sedimentar do rio do Peixe caracteriza-se por ser uma superfície de aplainamento com altitude média em torno de 230 m, situado em nível mais baixo do que a área do embasamento cristalino circundante constituído por rochas mais resistentes, formando elevações em torno da bacia sedimentar com configuração em leque aberto em um dos lados do vale do rio Piranhas.

Em relação às áreas de exposição dos sedimentos da bacia do rio do Peixe, o relevo apresenta-se plano com pequenas variações nas diferentes unidades litológicas.

Observa-se que os arenitos apresentam-se em relevos irregulares, enquanto os siltitos e argilitos formam um relevo de aspecto mais suave.

Conforme observado no mapa geomorfológico, o relevo da **bacia sedimentar** do rio do Peixe caracteriza-se por ser uma superfície de aplainamento com altitude média em torno de 200 a 230 m. Em relação às áreas de exposição dos sedimentos da bacia do rio do Peixe, o relevo apresenta-se plano com pequenas variações nas diferentes unidades litológicas. Observa-se que os arenitos apresentam-se em relevos irregulares, enquanto os siltitos e argilitos formam um relevo de aspecto mais suave.

Tabela 3 – Aspectos Geológicos e Geomorfológicos da Bacia do rio do Peixe – PB

Unidade estrutural	Dados geológicos	Compartimentação do relevo	Classes de Formas
Complexo granítico-gnáissico-migmatítico	Pré-Cambriano Indiviso	Maçços Residuais	Formas Residuais Dissecadas
		Depressão Sertaneja	Formas deprimidas c/superfícies planas e/ou ligeiramente dissecadas
Bacia sedimentar do rio do Peixe	Jurássico superior e Cretáceo Inferior (J) e (K) Grupo rio do Peixe (K1rpa)	Depressão Sertaneja c/ superfícies baixas pediplanadas	Formas deprimidas associadas a Formas aguçadas convexas e tabulares
Sedimentos cenozoicos de aluviões	Holoceno Qa	Planície Fluvial do rio do Peixe	Formas de Acumulação

As unidades estruturais embasam e de certa forma conduzem a esculturação demonstrado no quadro acima. O quadro geomorfológico assenta-se sobre o estrutural, permitindo relacionar as formas residuais e deprimidas aos maciços graníticos- gnáissico precambriano. A bacia sedimentar encaixa-se na Depressão sertaneja com formas tabulares e convexas nos patamares que compõem os pedimentos e alguns relevos em dissecção que emergem em flagrante contraste geológico de núcleos graníticos em meio a formação sedimentares. São os relevos dissecados, as colinas e os campos de relevos residuais.

4.6.2 - O Domínio das Serra Altas

Regionalmente, a bacia do rio do Peixe encontra-se em uma zona deprimida, a Depressão Sertaneja, que é limitada pelos “ombros de rifts” (os relevos altos da serra do Padre em Bernardino Batista) e que se elevam a NW nas fronteiras com os estados Rio Grande do

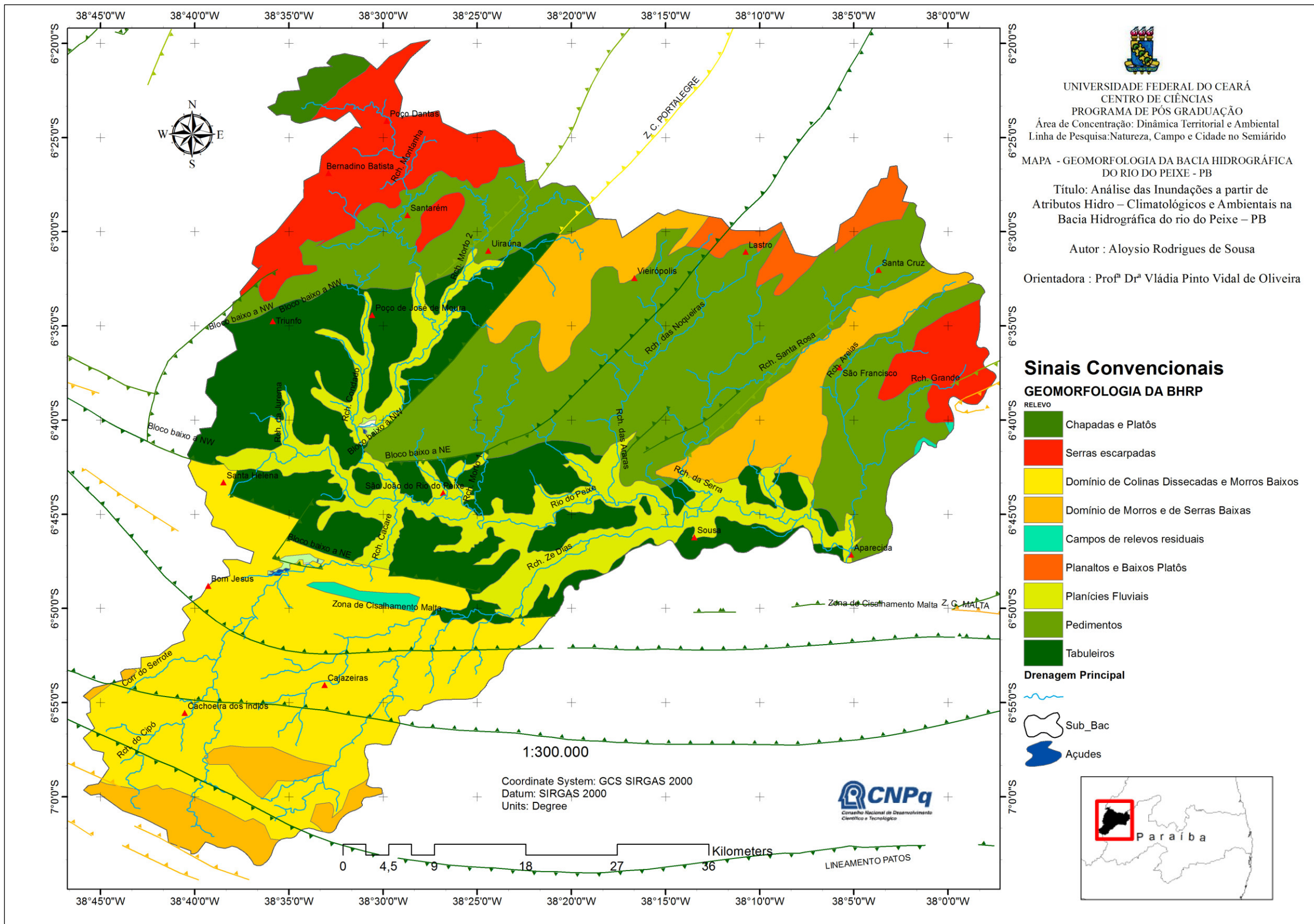
Norte e Ceará, respectivamente. Estas serras apresentam cotas variantes em torno de 700 m, formando os divisores regionais de bacias hidrográficas.

No mapa hipsométrico observa-se que as serras, morros e colinas têm altitudes em torno de 600 a 700 metros, chegando a alguns picos ao norte da bacia, a 800 metros. Trata-se de um relevo cristalino, de rochas do complexo gnaiss-migmatítico, rochas graníticas do pré-cambriano indiviso.

Esse complexo está posicionado na base da sequência estratigráfica. Conforme Dantas (1982), citado por Brandão (2005), “*o Complexo Granítico-gnáissico-migmatítico compreende os Grupos São Vicente, Caicó e Uauá, definidos respectivamente por Ebert (1970), Ferreira & Albuquerque (1969) e Barbosa et alii (1964/1970)*”.

As serras ao S/SW que formam o denominado Patamar Sertanejo, são os “ombros de rifts” da linha de falha constituintes da Serra de Santa Catarina que embasa parte do alto curso do rio Piranhas, inclusive os divisores com a bacia hidrográfica do Rio Pajeú. (CPRM: 2004). Esse complexo cristalino forma as Serras Altas ao norte da bacia do rio do Peixe, fazendo parte do complexo geológico do maciço do Pereiro no Ceará e dos contrafortes das serras de Luiz Gomes no Rio Grande do Norte.

MAPA 3 – Geomorfologia da bacia do rio Peixe



4.6.3 - Os pedimentos

A terceira unidade são os extensos pedimentos situados entre as serras e a bacia sedimentar, aí as altitudes médias situam-se em torno de 300 metros, envolvendo núcleos de formações cristalinas ainda em exumação, tais como em Vieirópolis, Lastro, Santa Cruz e Cajazeiras. É possível se identificar os processos físicos de degradação da rocha a partir da fragmentação gradual do corpo rochoso, que sob a ação de agentes intempéricos originam sedimentos que através da ação de agentes geomórficos locais, serão depositados nas cotas mais baixas, originando assim, os pedimentos que se coalem formando os pediplanos; o mesmo processo ocorre na bacia de Triunfo (BRANDÃO, 2005).

A hipsometria relacionada às superfícies que ligam as serras altas a planície fluvial constituem os extensos pedimentos de altitudes de cerca de 300 metros acima do nível do mar e que abriga diversas formas residuais, como a sul de Cajazeiras e a norte e nordeste de Sousa. São superfícies pouco inclinadas, com relevo de serras baixas e superfícies dissecadas salpicadas por colinas e morrotes em processos de pediplanação.

É possível relacionar no mapa hipsométrico as classe de altitudes com as unidades individualizadas na paisagem, de modo a se encaixar perfeitamente os ombros dos rifts com os processos que sucederam ao soerguimento do momento geológico Brasileiro e a seguir o rifteamento e o vagaroso processo de sedimentação entremeados com as possíveis mudanças eustáticas do mar e de movimentos epirogenéticos.

Essas considerações vão encontrar respaldo nas separações entre as formações Sousa, Antenor Navarro e o Alto de Santa Helena e ainda no próprio escoamento do rio Piranhas que está encaixado em falhas, dirigindo suas águas para o norte, devido ao barramento da Borborema.

Uma forma característica dessas áreas são os Inselbergs, termo alemão que significa literalmente “monte ilha” que, de acordo com DRESCH (1957), constitui uma forma típica de condições climáticas de savana. As vertentes dos inselbergues sofrem alteração da rocha através de dois processos de erosão: **downwearing e backwearing**, ambos resultando em exumação de blocos graníticos intrudidos que evoluem por **etchplanation** e por fim ascendem à superfície durante os processos de formação do pediplano.

Na bacia do rio do Peixe observa-se que o processo de enculturação do relevo ainda está em evolução com a presença de formas, que não se poderá considerar como

inselbergs, mas que apresentam as características de exumação em processos de denudamento. Nesse contexto os arquivos disponibilizados pela CPRM (2004) traz a classificação de Inselbergs para essas áreas, entretanto, visto que essas áreas e formas de relevo não se encaixam nessa classificação típica, preferiu-se designação de campos de relevos residuais.

Os processos físicos de intemperismo preponderam sobre os processos químicos e biológicos, provocando a ocorrência de feições idiossincráticas. As diáclases de descompressão que evoluem para uma rede de diaclasamento ortogonal originam blocos que sob a ação de sua própria massa, aliada à ação do clima local, provoca uma forma específica de desagregação em forma de pétala.

É possível se identificar os processos físicos de degradação da rocha a partir da fragmentação gradual do corpo rochoso, que sob a ação de agentes intempéricos originam sedimentos que, através da ação de agentes geomórficos locais, serão depositados nas cotas mais baixas originando, assim, os pedimentos que se coalescem formando os pediplanos.

IV) Finalmente, formando os leitos e margens dos cursos de água das bacias hidrográficas do rio Piranhas e do Peixe, ocorre a chamada Planície de Inundação ou Planície fluvial, unidade de idade atual a subatual, correspondente aos depósitos aluviais, que está entre 200 e 230 metros de altitude. Nesse compartimento, observa-se a localização das três cidades supramencionadas que sofrem as inundações e também a maioria das áreas onde se pratica a agricultura irrigada com as águas açude Lagoa do Arroz e Pilões e, ainda, de diversos proprietários que aproveitam o leito rochoso do rio para fazer barragens de pedra e cal, interceptando o fluxo do rio do Peixe.

É nessa unidade geomorfológica que se situa os melhores solos, propícios a agricultura irrigada devido a serem profundos, de boa drenagem e serem de baixa declividade e boa fertilidade.

4.7 – Os tipos de solos da bacia do rio do Peixe

No que se refere aos aspectos pedológicos, apresenta a bacia do Rio do Peixe uma grande área de Neossolos Litólicos (Uiraúna, Santa Helena e Poço José de Moura) e ainda verifica-se a presença de Argissolos (vermelhos e amarelos) nos municípios que compõe a parte norte e central da bacia. Portanto, apenas pequena faixa destes solos são

impróprios para a agricultura, devido a serem rasos com o horizonte A diretamente assentado sobre a rocha matriz ou ainda sem o horizonte A.

Nas proximidades de Sousa nota-se a presença de solos do tipo Vertissolos, Planossolos e Neossolos Flúvico, notadamente na bacia de inundação do rio do Peixe e mais marcadamente no médio e baixo curso, compondo as famosas áreas das Várzeas de Sousa, que se alargam de São João do Rio do Peixe até Aparecida, seguindo a direção do canal principal do escoamento da drenagem.

Os Vertissolos são considerados em três classes distintas: Solos Hidromórficos; Ebânicos e Cromados. Os solos hidromórficos são considerados aqueles que têm o horizonte vértico invertido ou tenham um horizonte vértico entre 25 e 100 cm. Outros solos que quando não apresentem horizonte vértico supracitado e que nos 20 cm superficiais (após misturados) tenham teor de no mínimo 30% de argila e em áreas de má drenagem ou de irrigação, que não apresentem fendas ou que apresentem um coeficiente de expansão linear superior a 0,06, são considerados como vertissolos.

Na bacia do Rio do Peixe, os solos resultantes do intemperismo oriundo de rochas sedimentares e de sedimentos quaternários inconsolidados são os Luvisolos que, de acordo com a Classificação de Solos da EMBRAPA (2006), compreendem solos minerais não hidromórficos, com argila de atividade alta, saturação de base alta e horizonte B textural ou B nítico imediatamente abaixo de horizonte A fraco ou moderado. Esta classe de solo abrange os solos considerados na classificação antiga de Bruno Não Cálculos e Podzólicos Vermelho-Amarelo Eutróficos (BRANDÃO, 2005).

O processo pedogenético que ocorreu nas rochas das formações Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas, compostos por conglomerados arenitos, siltitos e folhelhos originam os Vertissolos e os Neossolos Flúvicos (Brandão, 2005 op. cit). Na bacia do rio do Peixe os Vertissolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil. Estes solos apresentam variação de volume com o aumento da umidade do solo, ocorrendo o fendilhamento nos períodos secos. São solos que se desenvolvem nas áreas aplainadas e pouco movimentadas da bacia do Rio do Peixe. Esta classe de solos abrange os Vertissolos com presença ou não de fase pedregosa (BRANDÃO, 2005 op.cit).

Para esse trabalho considerou-se o 4º nível de classificação realizada pela Embrapa (2006), que fez algumas modificações na classificação anterior com eliminação da

classe dos Alissos e revisou atributos e horizontes, bem como ampliação das classes como as do Nitossolos, Argissolos, Neossolos, Espodossolos e Planossolos. Desse modo, como as manchas de solos são muito diversificadas, não se apresentando uma área com apenas um tipo de solo, optou-se por uma cartografia que envolvesse a 4ª ordem classificatória, pois se mostra mais real na distribuição dos solos.

Assim o mapa dos solos da bacia do rio do Peixe vai apresentar as seguintes classes:

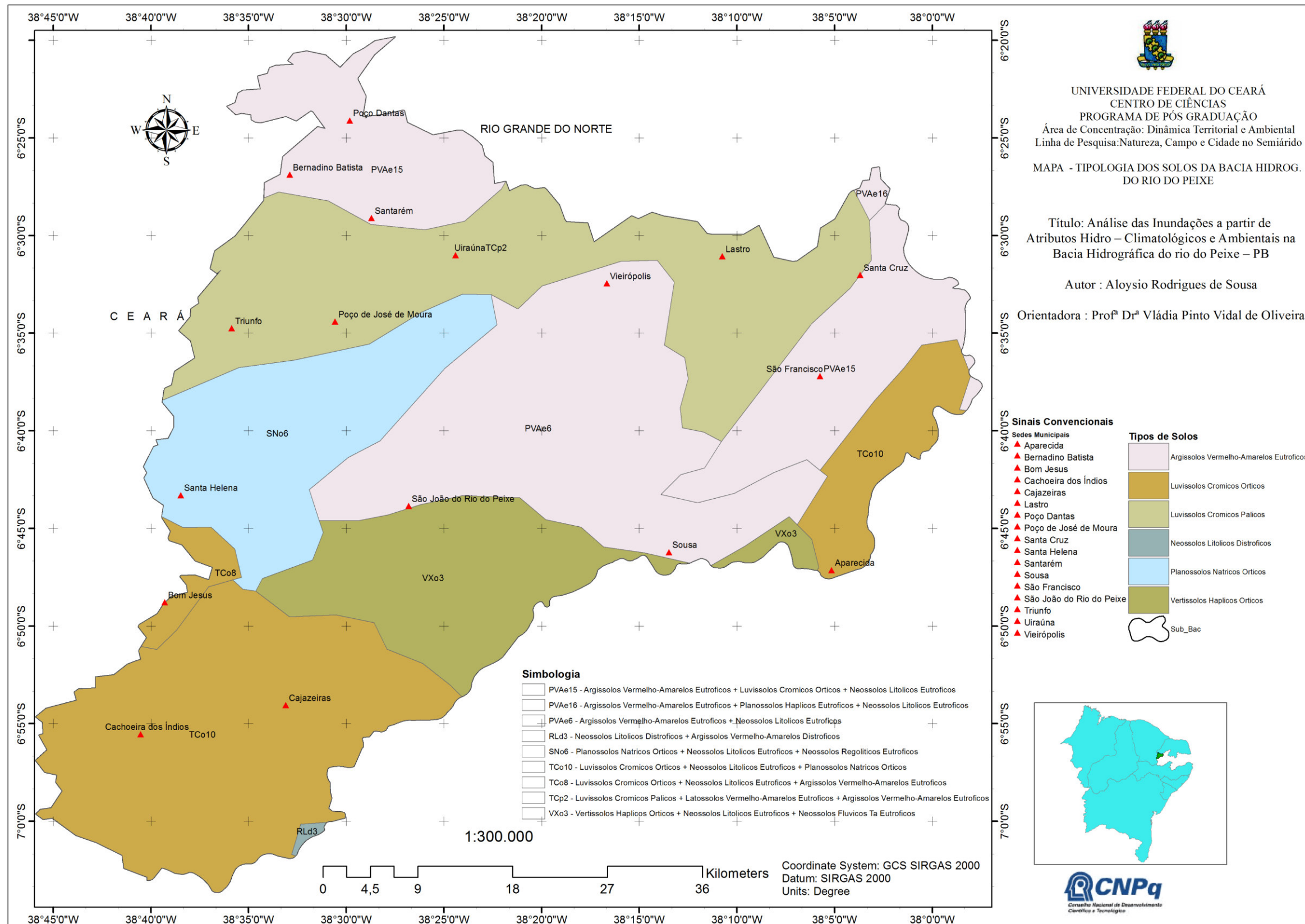
Figura 17 – Classificação dos solos na bacia do rio do Peixe

PVAe15 - Argissolos Vermelho-Amarelos Eutroficos + Luvisolos Cromicos Orticos + Neossolos Litolicos Eutroficos
PVAe16 - Argissolos Vermelho-Amarelos Eutroficos + Planossolos Haplicos Eutroficos + Neossolos Litolicos Eutroficos
PVAe6 - Argissolos Vermelho-Amarelos Eutroficos + Neossolos Litolicos Eutroficos
RLd3 - Neossolos Litolicos Distroficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Distroficos
SNo6 - Planossolos Natricos Orticos + Neossolos Litolicos Eutroficos + Neossolos Regolíticos Eutroficos
TCo10 - Luvisolos Cromicos Orticos + Neossolos Litolicos Eutroficos + Planossolos Natricos Orticos
TCo8 - Luvisolos Cromicos Orticos + Neossolos Litolicos Eutroficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutroficos
TCp2 - Luvisolos Cromicos Palicos + Latossolos Vermelho-Amarelos Eutroficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutroficos
VXo3 - Vertissolos Haplicos Orticos + Neossolos Litolicos Eutroficos + Neossolos Fluvicos Ta Eutroficos

Essa classificação mostra que os solos que correspondem às serras altas são os Argissolos Vermelhos – Amarelos Eutroficos em adição com os Luvisolos Cromicos Orticos e os Neossolos Litolicos Eutroficos. Esses solos têm características de serem argilosos, evoluírem no local e serem pouco desenvolvidos com ausência do horizonte B. São solos que apesar de apresentarem fertilidade alta, possuem fortes limitações pela falta d'água, pelos impedimentos à mecanização da lavoura e erosão em decorrência do relevo. Sugere-se o aproveitamento destes solos com pastagens, reflorestamento e culturas perenes, adaptadas a uma longa estação seca (CAVALCANTE et al, 2005).

Os pedimentos são constituídos por solos do tipo dos Luvisolos Crômicos Orticos – TCp2 em adição aos Neossolos Litolicos Eutroficos – PVAe6 e Argissolos Vermelhos-Amarelos Eutroficos. Forma o segundo patamar que liga as partes altas das serras ao nível de aplainamento. São solos pouco desenvolvidos, argilosos de caráter modal.

MAPA 4 – Tipologia e distribuição dos solos na Bacia do rio Peixe



Os solos que constituem o Domínio das serras baixas e do relevo residuais são classificados como Tcop10 e Tco8, que são os tipos Luvisolos Cromicos Orticos, os Neossolos Litolicos Eutróficos em adição aos Planossolos Nátricos Ortico (Sno6) e Argissolos Vermelhos–Amarelos Eutrófico (PVAe6).

Os Luvisolos são solos com argila de atividade alta, o caráter crômico diz respeito à cor. Os Argissolos Vermelhos-Amarelos Eutrófico são solos que apresentam o horizonte B textural logo após o HzA com argila e caráter alítico, ou seja, apresentando uma saturação de alumínio no HzB. Limitações fortes se apresentam no que se refere à deficiência de água.

A textura arenosa da parte superficial destes solos facilita a perda da matéria orgânica, normalmente quando o solo é muito revolvido. Adubações orgânicas são fundamentais para estes solos, além da complementação com fertilização química. São solos mais indicados para utilização com pecuária (CAVALCANTE et al, 2005).

Finalmente constituindo a planície aluvial a presença da classe Vxo3 – Vertissolos Haplicos Orticos, Neossolos Litolicos Eutróficos e com os Neossolos Fluvicos Ta Eutrófico. Os Vertissolos Háplicos são aqueles com caráter carbonático ou com horizonte cálcico em um ou mais horizontes, dentro da superfície do solo. Neossolos Flúvicos são de natureza muito variada, dependendo fortemente das características dos sedimentos aluviais que os formaram.

Na área em estudo, possuem textura arenosa e média até muito argilosa. Da mesma maneira, a natureza da fração argila pode ser de baixa atividade como de alta atividade. São distróficos ou eutróficos, podendo ou não apresentar salinidade ou sodicidade. A única característica comum desses solos na área em estudo é sua drenagem imperfeita. Dessa maneira, parte desses solos pode apresentar boa aptidão à agricultura e outra parte pode ser inapta e podem desenvolver a salinização quando realizada irrigação sem um controle da drenagem.

Essa amostragem, ainda que de forma ampla, permite a análise relacional do tipo de solo e os locais onde acontecem as inundações. As cidades de São João do rio do Peixe, Sousa e Aparecida, com ênfase para as primeiras, estão localizadas nas áreas de Vertissolos e Neossolos Flúvicos que têm características de apresentar argila em alta atividade, dificultando a drenagem e, dessa forma, contribuindo para o alto escoamento superficial da drenagem do rio Peixe, que em conjunto com outros fatores geram as inundações.

4.8 – A cobertura vegetal

A bacia do rio do Peixe está inserida na parte oeste do estado da Paraíba, que já representa um conjunto fisionômico de caatingas a partir da borda ocidental da Borborema, em direção ao interior, com mudanças sensíveis na paisagem condicionadas pela maior ou menor aridez, conforme a localização geográfica, solos, altitudes e presença de água na superfície e subsolos.

A vegetação exprime a condição climática onde está inserida, revelando o equilíbrio entre as variáveis condicionantes da área, de modo que a vegetação pode ser considerada o reflexo desse equilíbrio devido, muitas vezes, aos condicionantes climáticos-pedológicos, como também da ação antrópica do uso e manejo do solo e da água.

Esse conjunto se caracteriza por árvores e arbustos espontâneos, densos, baixos, retorcidos, de aspecto seco, nanofoleáceas, coreáceas, de caráter caducifólio, com raízes profundas; adapta-se a altas temperaturas e a evapotranspiração do ambiente semi-árido.

As áreas onde o manejo da agricultura irrigada está presente nos perímetros irrigados e em propriedades particulares às manchas de vegetação arbórea, tornam-se mais visíveis e muitas vezes mascaram as análises feitas em imagens de satélites e mesmo na utilização dos índices de vegetação. As serras, por sua característica de relevos movimentados podem, ainda, manter certas espécies vegetais tais como o cedro, aroeiras, angicos e algumas árvores de porte médio, condicionadas ao regime de chuvas e umidade ali existente.

As áreas de pastagem e de agricultura mais afastadas das áreas irrigadas e dos relevos mais amenos da bacia sedimentar são absolutamente antropizadas e mesmo durante o período chuvoso não conseguem se revestir de um conjunto vegetal mais denso, devido ao manejo inadequado da cultura e do pisoteio do gado solto para pastar sobre os restos das culturas ou sobre o que não conseguiu se produzir por falta de chuvas.

O cartograma abaixo mostra a dimensão da ação antrópica sobre o ambiente semiárido da BHRP, devido ao processo de uso do solo para a agricultura de sequeiro e criação de gado feita de forma extensiva, para o ano de 1973. O cartograma é o resultado de uma classificação não supervisionada e levando em conta a relação das cores dos pixels para a água e para a vegetação durante o mês de setembro de uma imagem do sensor Multi-Spectral Scanner Imagens (MSS), acoplado ao satélite Landsat 1 na órbita 216 e ponto 065 datada de 19 de setembro 1973. A segunda imagem é do sensor Thematic Mapper acoplado ao satélite Landsat 7 na órbita 216 e ponto 065 datada de 07 de fevereiro de 2010.

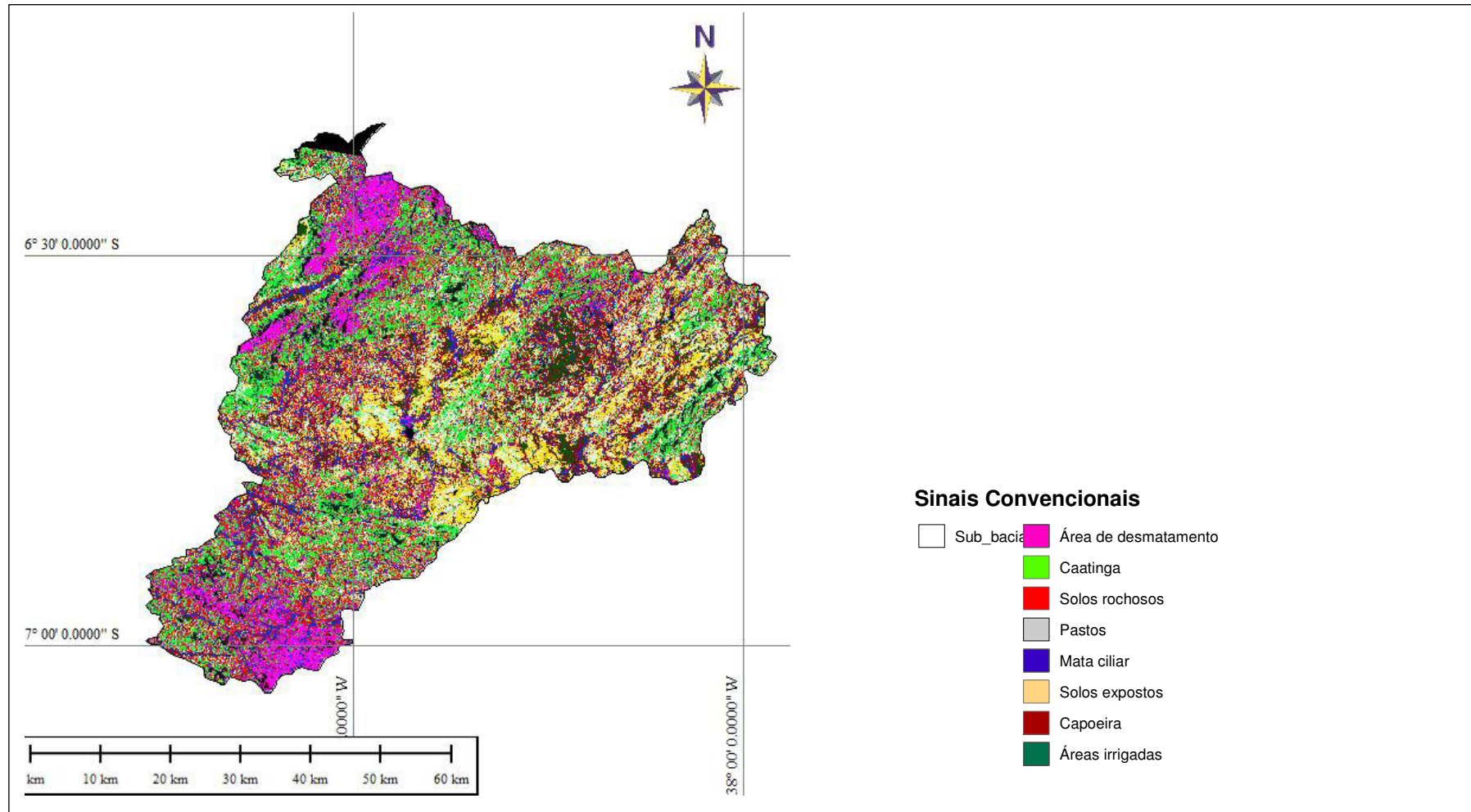
Embora o cartograma relativo ao ano de 2010 tenha sido com imagem de fevereiro, época do ano em que a formação vegetal está mais exuberante, dado as precipitações e na imagem se pode observar as nuvens e manchas de sombras na parte sul da bacia, optou-se por manter essa classificação devido ao objetivo de interesse focar na vegetação arbórea e, apesar disso, as manchas de vegetação diminuíram consideravelmente.

Grande parte da vegetação nativa foi completamente retirada por meio do fogo e do desmatamento irracional. Ver-se que apenas pequenas áreas permanecem ao longo das falhas geológicas, por serem áreas verticalizadas e de gradiente acentuado em relação as áreas circunjacentes.

Assim, na Bacia do rio do Peixe, a fisionomia vegetal que mais se apresenta é a formação de Caatinga, arbustiva e arbórea e com amplas áreas de antropização, notadamente nas áreas onde a pecuária e agricultura de sequeiro se realizam de modo secular.

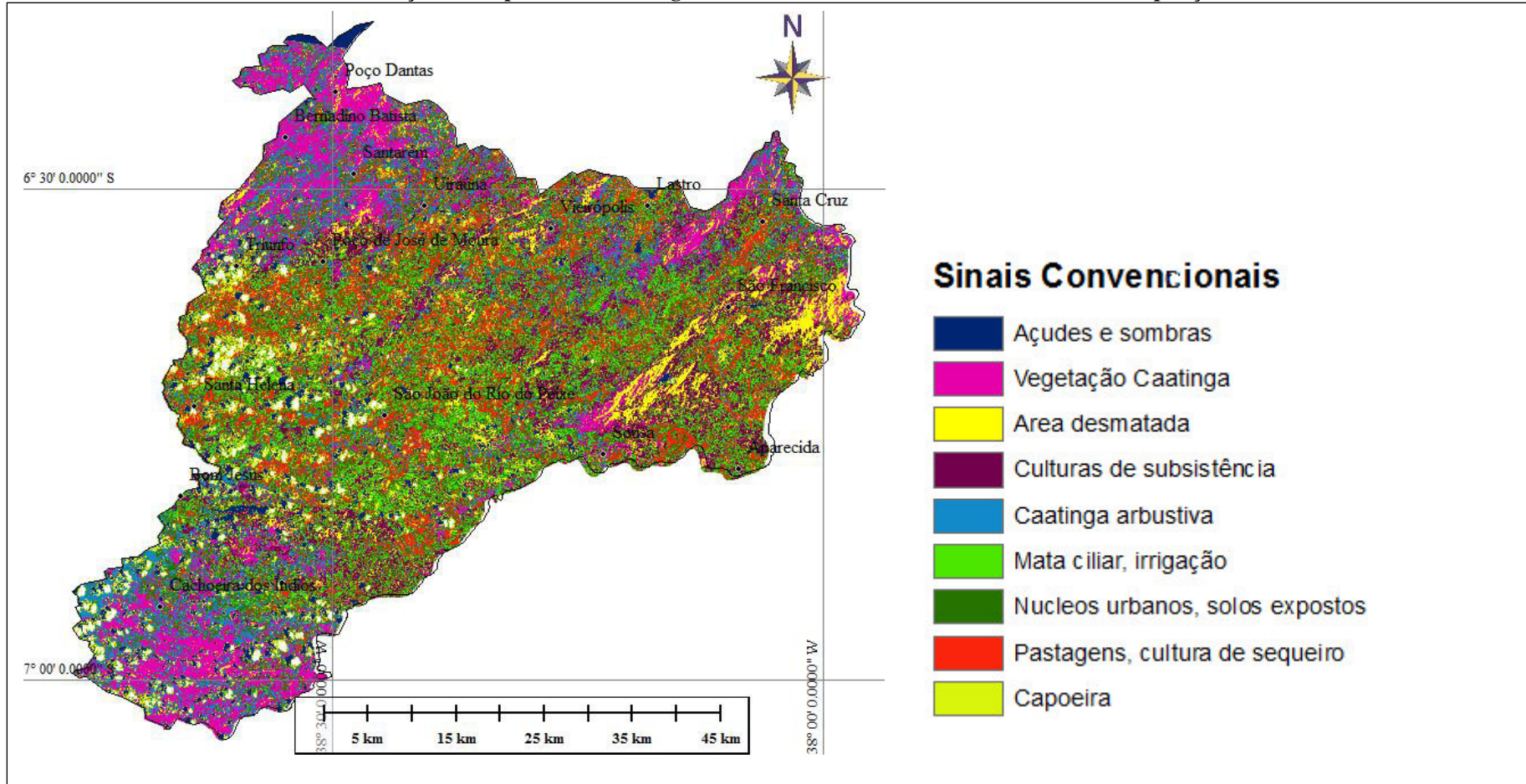
Na área da bacia sedimentar, onde os solos são mais profundos e a capacidade de reter água no subsolo pode sustentar uma vegetação mais exuberante, a presença da carnaubeira, da oiticica, juazeiros e pomares de mangas, goiabeiras e diversas árvores frutíferas são atributos que enfeitam a paisagem semiárida e quase que chegam a negar o paradoxo da seca e da irregularidade das precipitações.

MAPA 5 – Classificação não supervisionada - Imagem LANDSAT 1 MSS 19730919, composição RGB 457



Fonte: INPE.

MAPA 6 - Classificação não supervisionada Imagem LANDSAT 7 ETMXS 20010207 216 065. Composição RGB 435.



Fonte:: INPE

Nos cartogramas de 1973 e 2010 é possível comparar que houve uma redução da vegetação de Caatinga arbórea nas serras ao norte e ao sul, que as áreas de desmatamentos e solos expostos aumentaram principalmente ao leste nos relevos que formam a Serra do Comissário. Também se pode avaliar o aumento de áreas de irrigação ao centro da bacia onde se localizam os açudes de Lagoa do Arroz e Pilões e onde os solos mais férteis e baixa declividade permite essa forma de exploração.

Ainda muitos outros pequenos açudes que se distribuem no espaço da bacia, por não serem tão exigentes em termos de volume e com outras finalidades, formam em seu entorno e jusante manchas de vegetação e pastos. Além disso, há os açudes construídos para abastecimento como o açude Chupadouro, açude Paraíso em São Francisco, o Roça Nova, o açude Gamela e o Cachoeira da Vaca, entre outros.

Dessa forma, com aporte à água bem maior que em 1973, é de fato possível observar que as manchas de irrigação ao longo dos trechos dos riachos ou nas áreas que envolvem os açudes, a formação de uma vegetação mais densa seja de Caatinga arbustiva ou mesmo de partes da mata ciliar, que apesar do antropismo efetivo, está mais conservada que em 1973.

Outra forma de analisar a formação vegetal é a análise o NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, que dentre outras coisas, ressalta o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (Moreira, 2005). A partir das reflectividades das bandas 3 e 4 do TM Landsat 5, foram obtidos os índices de vegetação conforme a metodologia apresentada (ALLEN et al., 2002) .

Esse índice permite mapear a vegetação e também medir a quantidade e a condição da vegetação de uma determinada área, chegando mesmo a reconhecer alguns cultivos de determinadas culturas. Por essas possibilidades, pode ser utilizado no estudo da modelagem climática e hidrológica balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, estimativas de parâmetros de vegetação, monitoramento de secas e de desmatamentos, de queimadas e, conseqüentemente, das inundações provocadas pelas vias do desmatamento.

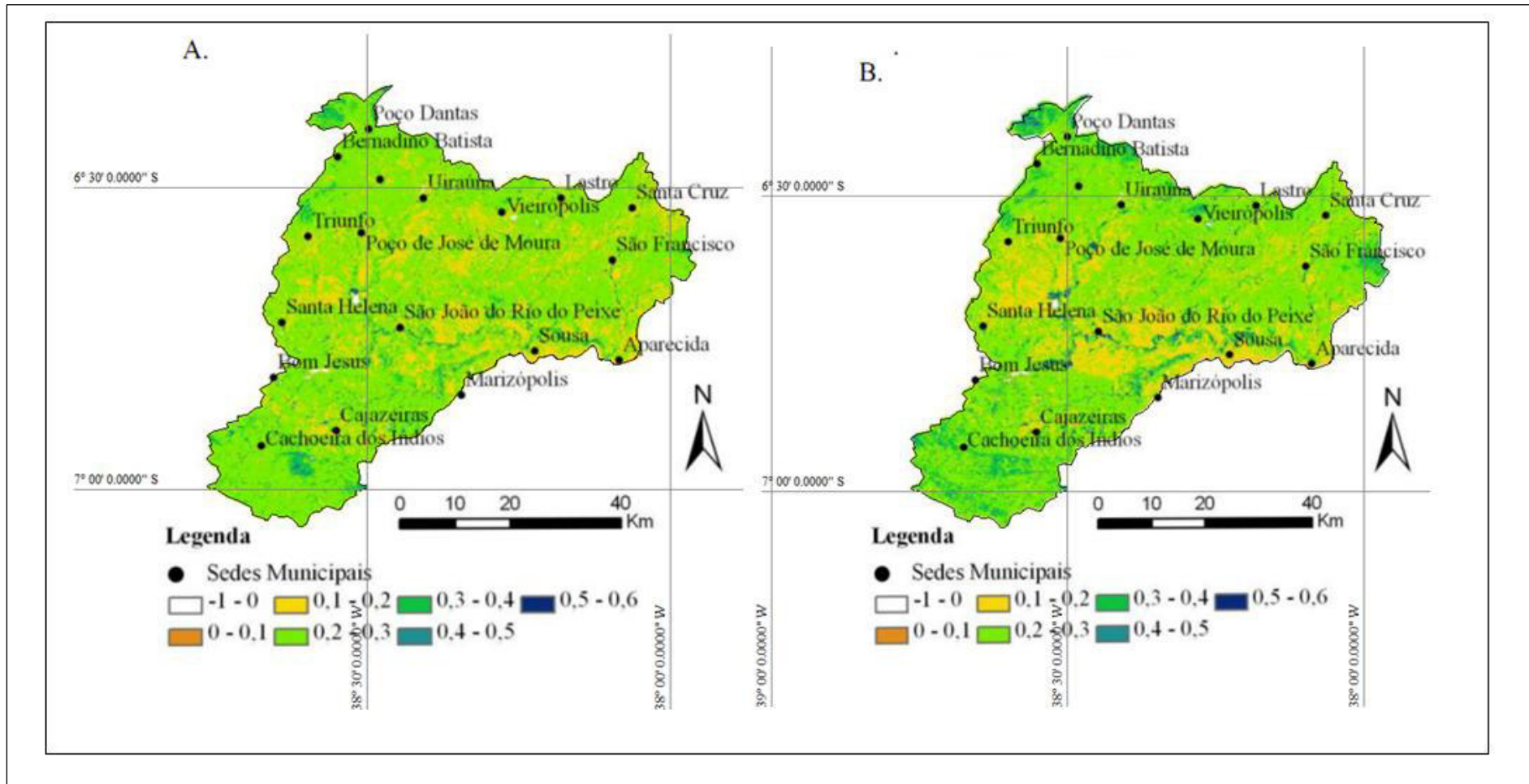
O Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI) é representativo de vários índices de vegetação espectrais. Este índice é uma técnica bastante importante, utilizada para melhor visualizar os alvos no que diz respeito a variação da vegetação, ele é a razão entre as bandas de alta correlação entre si e serve para realçar os alvos de interesse, a biomassa vegetal (FREIRE; PACHECO, 2005).

Os valores do NDVI oscilam de -1 a +1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela apresenta-se em seu estágio denso, úmida e bem desenvolvida. A água tem reflectância na banda 3 maior do que na banda 4, portanto, apresenta valores negativos próximos a -1, no NDVI.

As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo, portanto, espera-se que o valor do pixel seja bem próximo de zero. O solo nu, sem vegetação ou com vegetação rala e esparsa, apresenta valores positivos, mas não muito elevados. Valores entre 0 e 0,3 ocorrem em regiões de solo com grande exposição e maiores que 0,3 até 1 em regiões vegetadas.

Em um estudo sobre a bacia do rio do Peixe, Cunha et al (2009) realizaram uma análise comparativa das mudanças da cobertura e do uso da terra da bacia do Peixe, no intervalo de 20 anos, utilizando as imagens do Mapeador Temático – TM do satélite Landsat 5 e diversos parâmetros obtidos mediante aplicação do algoritmo SEBAL

MAPA 7 – NDVI da bacia do rio do Peixe entre 1987(A) e 2008(B).



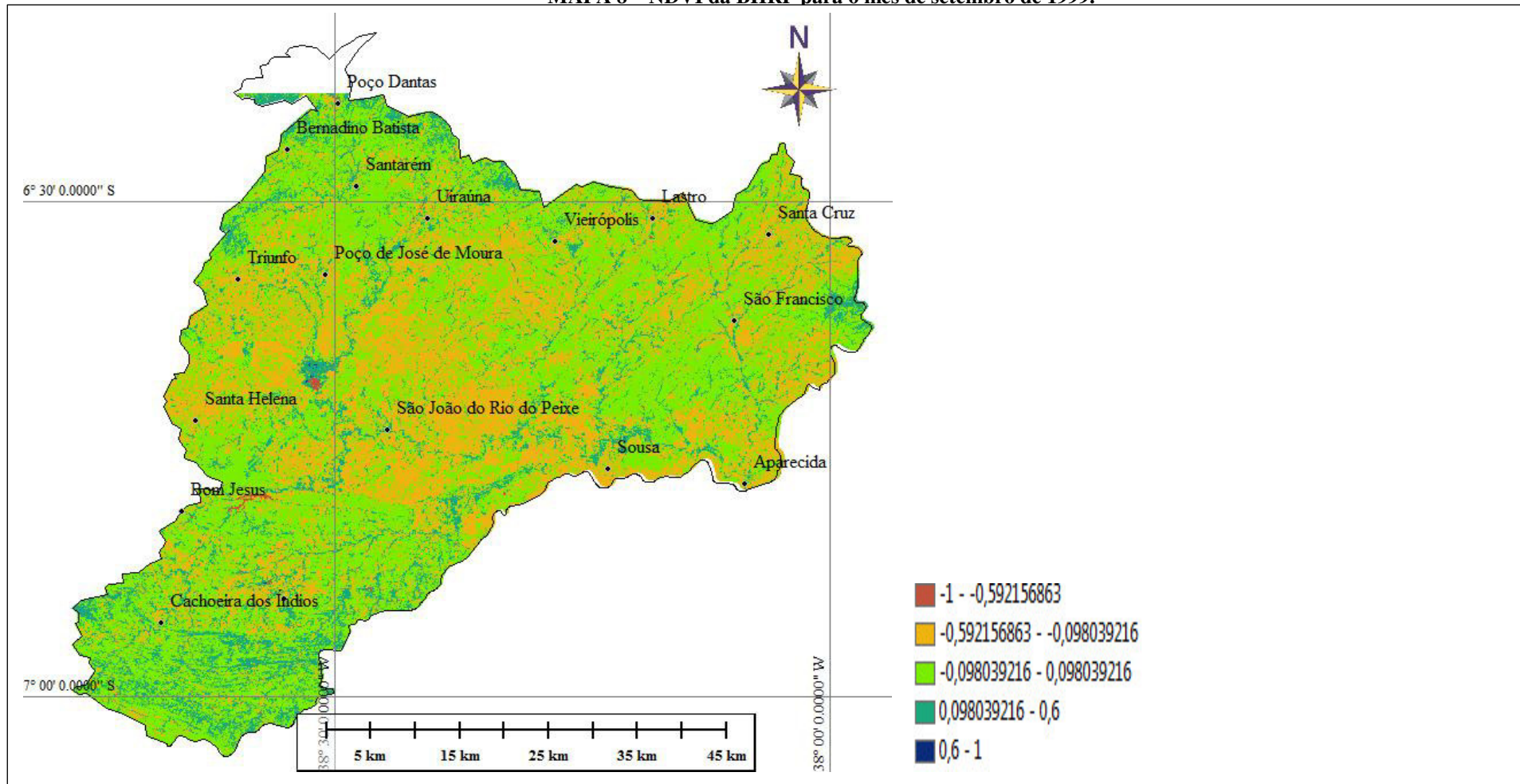
Fonte: Cunha et al., 2009

Os resultados encontrados mostram, segundo o cartograma produzido na pesquisa referida, que as áreas com maior altitude tanto ao norte como ao sul, permaneceram mais vegetadas (NVDI > 0,2) ocorrendo, inclusive, um ganho em área e na intensidade do recobrimento da vegetação (maior presença da classe 0,3-0,4).

Por outro lado, ocorreram maiores perdas da cobertura vegetal nas áreas situadas a oeste, acima da cidade de Santa Helena até Triunfo e Poço José de Moura e ao longo da drenagem do Rio do Peixe, particularmente ao sul da cidade de São João do Rio do Peixe. De forma difusa, houve um ganho de recobrimento vegetal em áreas de localização intermediária na paisagem ao norte, margem esquerda do Rio do Peixe e ao sul, no entorno da cidade de Cajazeiras (CUNHA et all, 2009).

Para os objetivos desta pesquisa, buscando as relações entre a ocupação e uso do solo na bacia e as inundações, procurou-se uma correlação para comparação com o estudo mencionado. Foram utilizados imagens LANDSAT 5 TM_1999 0809_216_065 nas bandas 3 e 4 e gerado as imagens no Arc giz na ferramenta Índice de Vegetação. O mês de setembro é um mês de excelência para a aferição deste índice, pois já se passou o período do inverno, mas as atividades de abertura do terreno, do destocamento ou da chamada “broca”, ainda não aconteceram.

MAPA 8 – NDVI da BHRP para o mês de setembro de 1999.



Fonte: LANDSAT 7 1216065_0651999 0813 bandas 3 e 4.

Desse modo, para o mês de setembro de 1999 as imagens revelaram que estiveram relativamente em consonância com os resultados de Cunha et al. (2009). Como se pode observar no cartograma da figura 32 do NDVI para ano de 1999 mostra que há uma grande correlação com o estudo mencionado. As áreas próximas a São João do rio do Peixe, Triunfo e Santa Helena estão dentro da redução de vegetação, enquanto que as áreas de serras ao norte e ao sul há núcleos de vegetação que ficam dentro da faixa 0,6 a 1. Os açudes estão na faixa de -1 e grande parte da área apresenta-se dentro da faixa -0,59 a - 0,098, indicando áreas úmidas devido as intervenções pela irrigação.

CAPÍTULO V

CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E OS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA BHRP

Este capítulo examinará os sistemas que ocorrem no Nordeste do Brasil e terá como foco de análise os sistemas que incidem sobre a mesorregião de Cajazeiras e Sousa durante o período chuvoso, que se inicia entre janeiro/fevereiro, podendo, em alguns anos, chegar a maio/junho. O fato que se revela é que as inundações estão diretamente associadas aos anos chuvosos em que as condicionantes atmosféricas que se relacionam em nível sinótico e regional encontram as variáveis em nível local e proporcionam as inundações, como os eventos de 30 de março de 2008 e 14 de abril de 2009.

Apesar de toda a variabilidade existente durante grandes períodos de tempo, com anos sem a ocorrência de inundações, elas sempre retornam e cada vez mais desabrigando as populações que residem naquela área. É certo que quando as precipitações se mantêm na climatologia da bacia, as inundações não acontecem, contudo, com a ocupação cada vez maior das proximidades do leito menor do rio a retirada de moradores tem se verificado, como em 2012 que foi considerado um ano abaixo da climatologia.

5.1- O tipo climático da BHRP.

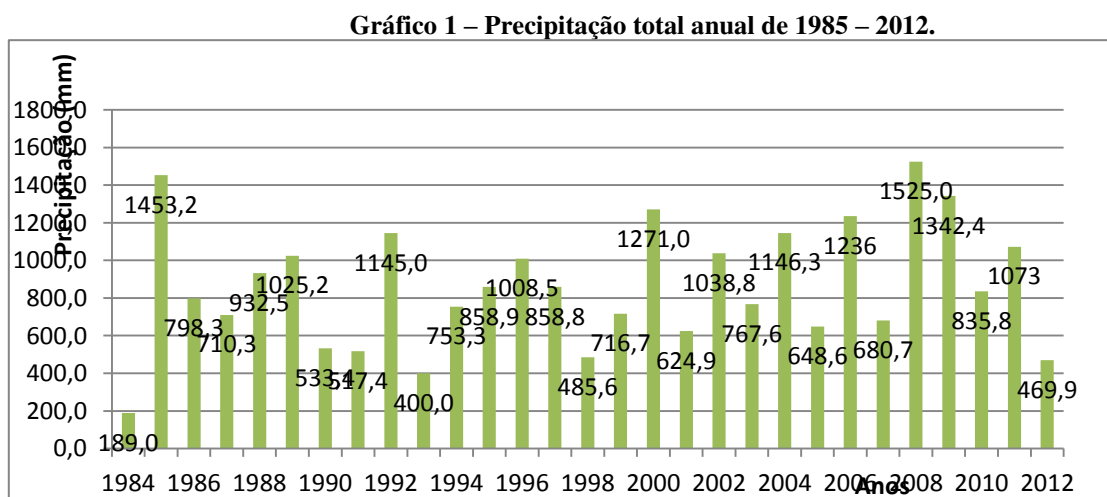
Na classificação bioclimática de Gaussen (1955), a área da bacia do Rio do Peixe apresenta um clima do tipo semiárido quente mediano, com 7 a 8 meses secos e uma má distribuição anual da precipitação, correspondendo às regiões bioclimáticas *4ath* e *4bth*, *tropical quente de seca acentuada* e *tropical quente de seca média*, respectivamente. Aliado às altas temperaturas e a elevadas taxas de evapotranspiração, a estiagem ocasiona sérios problemas de ordem socioeconômicas peculiares à região (BRANDÃO, 2006).

A pluviometria média anual, segundo observações, efetuadas nas estações de Cajazeiras, Souza e Pombal revelam valores de 880,6, 783,9 e 730,9 mm, respectivamente. A distribuição das chuvas durante o ano, conforme acima mencionado, apresenta-se de modo irregular no espaço e no tempo. Em Cajazeiras 78,4% do total das chuvas concentra-se em 4

meses (entre janeiro e abril), em Pombal 75,5% e em Sousa 78,7% para o mesmo período (CPRM, UFCG,2005).

Nas precipitações dos anos de 1977, 1985, 1996, 2000, 2008, todas superando mais que 1000 mm, ocorreram enchentes e inundações das cidades do baixo curso do rio do Peixe. Entretanto, também se verificou que em 2002, 2004, 2006 as precipitações também foram maiores que 1000 mm, mas as cheias alcançaram menor proporção e não acarretaram os transtornos e perdas materiais de grande volume. Todavia, vale destacar que não houve, nestes últimos 30 anos, um índice pluviométrico médio de 1370 mm e nem tantos desabrigados e perdas maiores que o ano de 2008.

As precipitações em dados brutos durante o período de 1985 a 2012, coletados na estação climatológica de São Gonçalo, apresentam a seguinte configuração, mostrada no gráfico abaixo:



Elaborado a partir de dados da estação São Gonçalo. Fonte: ANA

Devido a um precário monitoramento climatológico, existe uma carência de dados dos elementos atmosféricos: pressão atmosférica, velocidade dos ventos, ponto de orvalho, insolação, evapotranspiração e outros, sendo apenas a precipitação um dado possível de ser encontrado, mesmo assim de forma não confiável, dado o descompromisso e manuseio inadequado dos instrumentos de coleta.

A climatologia da região da bacia do rio do Peixe (Tabela 3) se situa em torno de 879,23 mm, como se pode avaliar nos dados dos postos pluviométricos de Aparecida, Cachoeira dos Índios, Cajazeiras, S. J. do rio do Peixe, no açude de Pilões, Bom Jesus,

Cachoeira dos Índios, Lastro, Santa Cruz, Santa Helena, Sousa, Sousa/São Gonçalo, São Francisco, Triunfo e Uiraúna, situados na BHRP:

Tabela 4 – Climatologia de 11 Postos Pluviométricos Localizados na Bacia do Rio do Peixe entre 2000 - 2012

Ano	Bom Jesus	Cachoeira dos Índios	Cajazeiras	Lastro	Santa Cruz	Sousa	Sousa / São Gonçalo	São Francisco	Antenor Navarro	Triunfo	Uiraúna	Média Total	Normal
2000	1386,2	1110,5	1172,3	883,4	1127,8	996	1164,7	913,7	1335,3	1223,2	1052	1124,1	912,1
2001	662,2	810,4	575	448	488,6	662,1	729,4	522,3	440,1	611,1	389	576,2	912,1
2002	1011	860	930,9	744,7	915,9	745,9	1091,2	729,8	1037	821,8	822,3	882,8	912,1
2003	1004	792,2	965,1	638,9	765,3	687,7	875,5	814,3	780,9	537	705,6	778,8	912,1
2004	1308,5	1089,6	1114,2	1020,6	1106,7	1075	1045,2	1119,9	1060,6	1165,8	1055,5	1105,6	912,1
2005	807,3	650,7	830,2	392,4	626	683,1	871,1	517,1	659,5	863,9	782,4	698,5	912,1
2006	1232,6	889,3	1124,7	846,2	869,5	1129,4	1174,6	886,2	1242,6	985,8	839,4	1020,0	912,1
2007	548,7	445,5	696,4	515	745,8	702,6	803,8	820,9	670,1	665,6	743,2	668,9	912,1
2008	1505,9	1540,1	1608,1	1080,4	1233	1399	1837,4	986	1525	1299,1	1293,8	1391,6	912,1
2009	1075,8	1176,5	1284,1	1059,5	1181,9	1168,2	1425,2	1361,1	1342,4	1138,8	1733,5	1267,9	912,1
2010	636,8	713,4	572,5	534,1	769,5	677,9	842,9	948,6	835,8	898,3	766,4	745,1	912,1
2011	1436,3	1020,7	1400,8	736,5	803	1085,1	1346	693,2	1073	1181,5	948,2	1065,8	912,1
2012	675	480,5	707,1	530,1	432,4	406,5	544,5	517,6	507,25	517,8	537	532,3	912,1

Fonte: AESA

A tabela das climatologias dos postos pluviométricos situados nos 11 municípios, (em ANEXOS), de que estão situados na bacia do Rio do Peixe, apresenta uma grande variabilidade climática anual e mensal conforme dados em anexo para cada posto. Nessa análise de 2000 a 2012, observa-se que o ano de 2008 apresenta o maior Total pluviométrico médio para a bacia de 1391,62 mm e o ano de 2012 o menor índice 532,34 mm médio para os 11 municípios.

Os dados também apontam que as maiores variações de totais por municípios estão em Sousa com variação de 139,5 em Antenor Navarro – São João do Rio do Peixe, 78,8 em Uiraúna e 73,9 em São Gonçalo, o que só referenda esse ano classificado como CHUVOSO, dentro da metodologia proposta por Sant'Anna Neto (1990), Souza (1998) e Silva et al (2005).

Gráfico 2 - Precipitação Média Anual da Bacia do Rio do Peixe

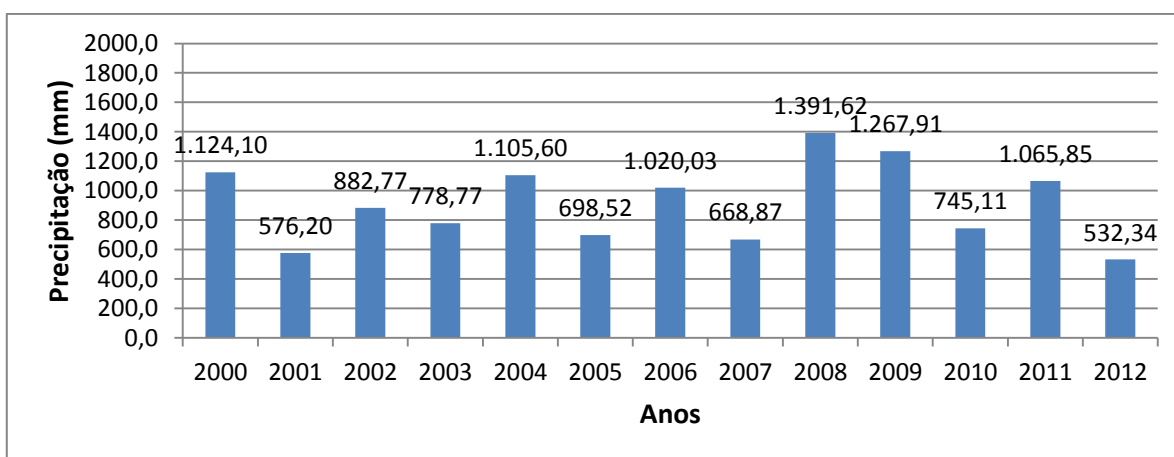


Gráfico 3 – Desvio Absoluto da precipitação anual

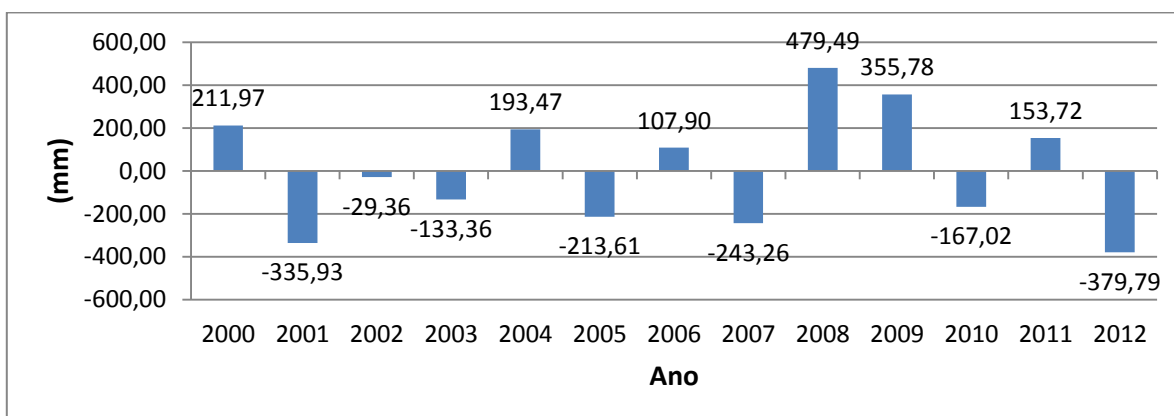
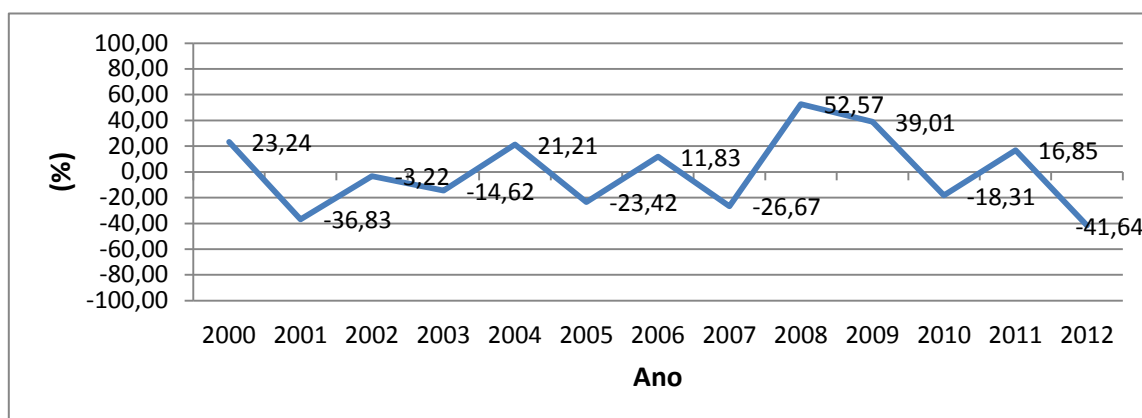


Gráfico 4 – Desvio Médio da precipitação anual



As maiores variações negativas para esse interstício (2000 a 2012) foram registradas em Cachoeira dos Índios com - 53,83%, em Santa Cruz – 53,11%, em Lagoa do Arroz (Cajazeiras) 47,04%, nos anos de 2007 e 2012, considerados ano classificado como SECO.

O ano de 2002 é representativo do ano habitual com variações muito pequenas da média climatológica e mostra que as precipitações ficaram apenas 29,3 mm da média climatológica para esses 12 anos tomados como recorte temporal.

A Tabela 4 mostra a Tipologia dos anos considerados dentro da classificação proposta por Sant’Anna Neto (1990), Souza (1998) e Silva et al (2005).

Tabela 5 - Tipologia de Anos Padrão da Bacia do Rio do Peixe

Ano	Chuvoso (> 25%)	Tendente a chuvoso (12,5% < x < 25%)	Habitual (-12,5% < x < +12,5%)	Tendente a Seco (-25% < x < -12,5%)	Seco (< -25%)
2000		■			
2001					■
2002			■		
2003				■	
2004		■			
2005				■	
2006			■		
2007					■
2008	■				
2009	■				
2010				■	
2011		■			
2012					■

Nesse recorte temporal de 2000 a 2012 os registros mensais e anuais mostram que os anos de 2001, 2007 e 2012 são considerados como padrão SECO pois se situaram dentro da faixa percentual de ($< -25\%$) da climatologia média para aos municípios que compõem a bacia do rio do Peixe. Dentro desse padrão observa-se que ocorreram no ano de 2012 com precipitações entre 432 mm (Santa Cruz) a 675 mm em Bom Jesus. Esse é o motivo que se leva ao senso comum dizer que esse 2012 e 2013, podem ser considerados a maior seca dos últimos 30 anos.

Os anos de 2002 e 2006 estando na faixa de $-12,5\% < x < +12,5\%$ da média normal para esse recorte temporal, com precipitações de 744 mm no município do Lastro e 1037 mm em Antenor Navarro (Vide Anexos), tem como média de precipitação para a bacia de 912,3 mm, mesmo assim situa-se dentro da faixa considerada como padrão Habitual.

Os anos de 2008 e 2009 tiveram índices a 25% da média climatológica para esse intervalo temporal. As precipitações nestes dois anos estiveram 52,57 e 39,01 acima da média climatológica. Os municípios que se registraram as maiores precipitações foram Sousa (Sousa/São Gonçalo) e Cajazeiras, com 1837,4mm e 1608,1mm, respectivamente, para o ano de 2008. Em 2009 as maiores precipitações ocorrem em Uiraúna, 1733,5 mm e Sousa (Sousa/São Gonçalo) com 1425,2 mm. O ano de 2008 e 2009 classifica-se como padrão CHUVOSO.

Os maiores desvio negativos da precipitação se correlacionam com os anos de 2001 e 2012, com e - 335,73mm e - 379,9 mm respectivamente. Os maiores desvio absolutos negativos foram registrados em Cajazeiras, 509,28 mm e 506,78 mm (vide Anexos). Os maiores índices de desvio absoluto de precipitação 779,5 em Sousa (São Gonçalo) para o ano de 2008.

5.2 - As Relações dos Sistemas Atmosféricos e a Precipitação na Bacia do Rio do Peixe.

O cruzamento das informações das precipitações nos anos padrão dentro do intervalo de 2000 a 2012, considerando as precipitações de Janeiro a Maio mostram que os sistemas atmosféricos que participam na influência sobre a precipitação, são: a ZCIT, os VCANS, a AB (Alta da Bolívia), as DOLs e os CCMs., CV, LI, SF, ZCIT e VCAN conforme o que se apresenta na Tabela 5.

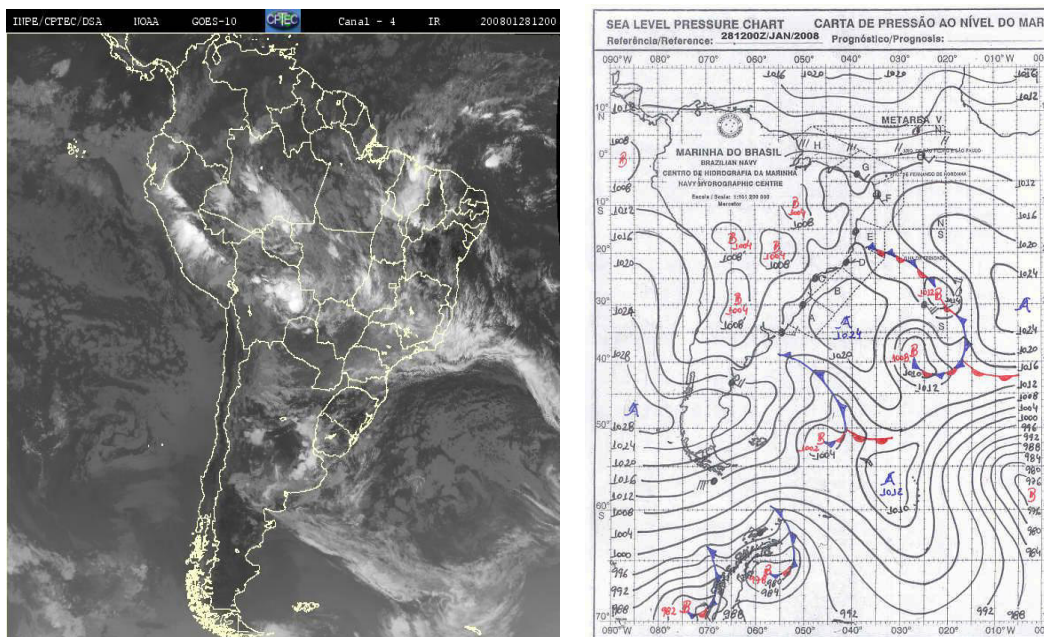
Para o ano padrão de 2008, ano considerado padrão CHUVOSO, os sistemas que influenciaram foram a ZCIT, VCANs, AB. Os campos oceânicos e atmosféricos de escala global destacaram a atuação mais intensa do fenômeno La Niña no setor oeste do Pacífico Equatorial. Houve aumento das anomalias negativas de Pressão ao Nível do Mar (PNM) sobre o setor oeste do Pacífico, Austrália e região da Indonésia, denotando a maior atividade da La Niña. Destacou-se o forte sinal da Oscilação Intrasazonal Madden-Julian (OMJ) sobre os oceanos Pacífico e Índico e sua influência favorável à ocorrência de chuvas sobre as Regiões Sudeste e Nordeste do Brasil em janeiro de 2008.

A partir do dia 20, a atuação da ZCIT e, principalmente, dos VCANs e favoreceu a ocorrência de chuvas acima da média nos setores norte e oeste e em áreas isoladas do sertão. Neste período, as chuvas excederam a média em grande parte do Ceará, no oeste do Rio Grande do Norte e na Paraíba, amenizando a situação de seca. Em São Gonçalo-PB, registraram-se 83,6 mm de chuva no dia 28. Durante o janeiro de 2008, as precipitações mensais ficaram em 249,8 mm em Sousa. As maiores precipitações aconteceram no dia 31, em São João do Rio do Peixe as ocorrências mostram 126,3mm

Na Figura 17, a imagem do satélite GOES 10 mostra grande nebulosidade sobre a região nordeste e sobre área da bacia do rio do Peixe. A presença de CCMs é vista em nuvens cumulus nimbus no Atlântico derivado possivelmente dos alísios que compõe a ZCIT. Na área da bacia a carta de superfície mostra PNM de 1012, com a influência do Centro de Alta Pressão do Atlântico Sul. A imagem ainda mostra a ocorrência de SF, sobre a Bahia, talvez com a formação do evento de ZCAS.

Em janeiro, os Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) foram notados com maior frequência sobre o Oceano Atlântico Sul. Destacou-se o sistema que se formou no período de 19 a 31, quando houve a caracterização do segundo episódio de ZCAS. Esta ausência de chuvas associada à presença dos centros dos VCAN's sobre o Nordeste do Brasil foi notada especialmente durante a primeira quinzena. A partir do dia 26, quando os VCANS posicionaram-se sobre o Oceano Atlântico, ao norte de 10°S, notou-se o aumento das chuvas em grande parte da Região Nordeste, assim como o deslocamento da ZCIT para latitudes mais ao norte.

Figura 18 - Imagem GOES 10 e Carta de Superfície do dia 28/01/2008



Fonte : INPE e <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>

Em fevereiro, as chuvas apresentaram-se irregulares. Destacou-se, a formação de intensas áreas de instabilidade sobre as Regiões Centro-Oeste, Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil, associadas à atuação da Alta da Bolívia e dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), particularmente entre os dias 20 e 24. A partir deste período, a ZCAS voltou a se configurar sobre a Região Sudeste e, mais no final do mês, sobre a Região Nordeste. Fevereiro, portanto, não repetiu as precipitações. Apenas Cachoeira dos Índios, Sousa e Lagoa do Arroz (Cajazeiras) com precipitação de 245,2 mm; 242,4 mm; 162,7 mm registraram chuvas acima da média. Os sistemas que atuaram durante o mês de fevereiro foram: AB, SF, VCAN.

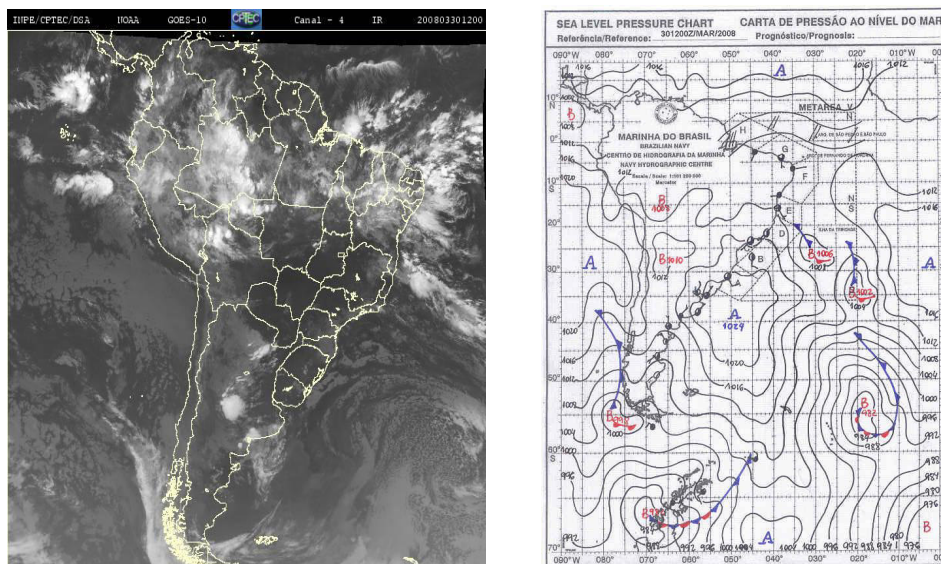
O mês de março de 2008 foi o mês acima da regularidade em todos os municípios que compõe a bacia do Rio do Peixe. A média das precipitações em 11 postos foi 1391,6 mm. A ação conjunta de vários sistemas meteorológicos contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da média histórica em grande parte da Região Nordeste do Brasil, especialmente no Maranhão, Piauí, sul do Ceará e oeste da Paraíba, onde este mês de março foi considerado um dos mais chuvosos dos últimos 47 anos.

A atuação da Zona de Convergência Intertropical sobre a faixa equatorial do Atlântico e a formação de cavados em médios e altos níveis sobre o Nordeste do Brasil,

particularmente no final de março, foram importantes mecanismos responsáveis pela ocorrência de elevados totais de precipitação que causaram inundações, deslizamentos e perdas humanas e materiais em vários municípios das Regiões Norte e Nordeste.

No Oceano Atlântico, destacou-se a expansão da área de anomalias positivas de TSM ao longo do equador e na porção oriental desta bacia, o que configurou uma situação favorável ao posicionamento da ZCIT ao sul da sua climatologia no final deste mês. No mês de março, os sistemas que atuaram foram: ZCIT, VCAN, VC. Em Sousa/São Gonçalo registrou-se 714,6 mm durante todo o mês, esse volume de chuvas é 78,34% da normal climatológica de 2000 a 2012. Em Antenor Navarro (SJRP) as precipitações nesse mês chegaram a 690,1mm com a maior chuva ocorrendo no dia 30 de março com registros de 124,1 mm.

Figura 19 – Imagem GOES 10 e Carta de superfície



Fonte: INPE e <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>

Na imagem GOES 10 do canal IR (infravermelho) de 12:00 GTM, observa-se atuação da ZCIT, que é o núcleo central da mEc a área de PNM menor que 1012 hPa. Na carta de superfície observa-se que as aletas estão totalmente fechada isso mostra que o céu estava totalmente fechado com ventos de pouca intensidade.

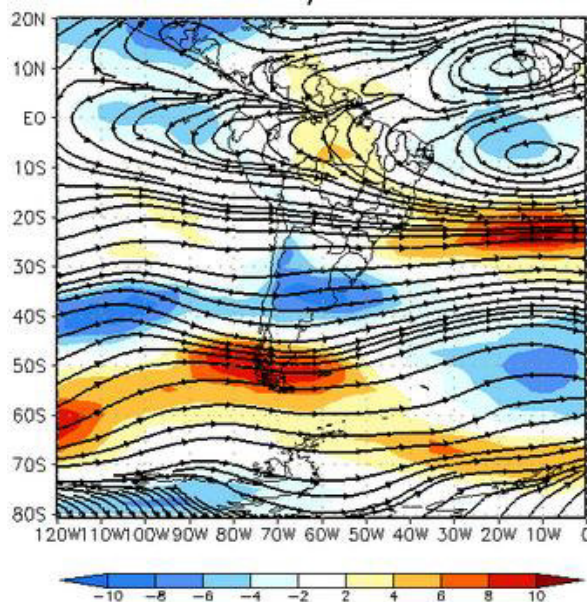
Durante o mês de abril, destacou-se a ocorrência de chuvas acima da média histórica no norte da Região Nordeste e em áreas no norte do Pará e Amapá, associadas principalmente à atuação da (ZCIT). O transbordamento de rios localizados nas Regiões Norte e Nordeste causou enchentes em cidades do Amazonas, Amapá, Rondônia, Acre, Piauí, Maranhão, Ceará e Paraíba.

O relaxamento dos alísios sobre o Pacífico Leste continuou sinalizando o enfraquecimento gradual do atual episódio de La Niña. Na região equatorial do Atlântico, destacou-se a intensa atividade convectiva associada à ZCIT, inclusive com a formação de “banda dupla” em alguns dias. A Oscilação Intrazonal Madden-Julian (OMJ) continuou bem configurada e apresentou um sinal favorável à ocorrência de chuvas acima da média sobre o Nordeste do Brasil entre o final de abril e início de maio de 2008.

Os principais sistemas que influenciaram nas precipitações na bacia do rio do Peixe foram: ZCIT, as LI's, Cavado. Em Antenor Navarro choveu 114,2 no dia 13. As precipitações durante o mês de abril foram muito bem distribuídas. O total das precipitações para o mês de abril situou em 370 mm. Em apenas 3 municípios analisados as precipitações estiveram abaixo de 300 mm(ver Tabela 5).

O mês de maio de 2008 foi marcado pela ocorrência de chuvas mais acentuadas no norte da Região Norte, associadas à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à formação de Linhas de Instabilidade (LI's), e no leste do Nordeste, entre o litoral de Pernambuco e Sergipe, associadas principalmente à formação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL).

Figura 20 – Linhas de Correntes e Anomalias em 250 hPa



Fonte: CPTEC/INPE

A ZCIT continuou intensa na região equatorial do Atlântico, contribuindo para a intensificação das Linhas de Instabilidade (LI's) ao longo da costa que, por sua vez, favoreceram a ocorrência de elevados totais diários de precipitação no setor norte das Regiões Norte e no norte Nordeste do Brasil,

A análise da circulação em 250 hPa (Figura 18) mostra um anticiclone centrado no oceano Atlântico em 10 W/15S. Deste sistema se estende uma crista, de maneira zonal, em direção ao oceano Pacífico. Uma configuração similar de ventos em altitude, nota-se sobre o Hemisfério Norte. Este comportamento dos ventos em altitude esteve associado à presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que provocou chuvas significativas sobre o norte do continente sul-americano. Este comportamento foi identificado, principalmente durante os primeiros dez dias do mês, como pode ser visto na figura correspondente ao segundo período. O anticiclone localizado no Atlântico equatorial também ajudou a advectar alguns pulsos da ZCIT em direção ao interior do Sertão Nordestino.

Tabela 6 – Precipitações de JAN a MAIO e Sistemas Atuantes

Ano 2008									
Postos/Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Total Chuvoso Jan/maio	Eventos Grande Escala	Total/anual Chuva Observada	Categorias Chuvas
Bom Jesus	241,4	84,1	590,2	348	141,5	1405,2	La Niña	1505,9	Am
Cachoeira dos Índios	289	245,2	450,9	313,6	187,3	1486		1540,1	Am
Cajazeiras/L. do Arroz	275,3	242,4	498,4	295,8	157,7	1469,6		1608,1	Am
Lastro	77,3	77,3	351	303,2	125,1	933,9		1080,4	Am
Santa Cruz	52,1	62,3	482,9	315,8	181,4	1094,5		1233	Am
Sousa	132,2	162,7	516,6	229,2	282,6	1323,3		1399	Am
Sousa/São Gonçalo	249,8	131,5	714,6	326,8	327,3	1750		1837,4	Am
São Francisco	79,2	69,6	384,7	261,6	94,9	890		986	M
A Navarro/SJRP	126,3	69,4	690,1	370,7	133,7	1390,2		1525	Am
Triunfo	166,6	111,5	559,4	293,3	96	1226,8		1299,1	Am
Uiraúna	69	89,5	494,1	386,2	121,6	1160,4	1293,8	Am	
Sistema Atuante	AB, ZCIT,VCAN	ZCIT, VCAN,AB	ZCIT, CV,LI, CCMS	VCAN, VC, ZCIT,AB	VCAN,CV, AB, LI, SF				

LEGENDA –

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul ou Anticiclone do Atlântico Sul

AB- Alta da Bolívia

B - Brisas Marinhas

VCANS – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT – Zona De Convergência Intertropical

LI – Linhas de Instabilidades

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

SF – Sistema Frontal

DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste

Am – Acima da média

Ab – Abaixo da média

M – Média climatológica

CV – Cavado

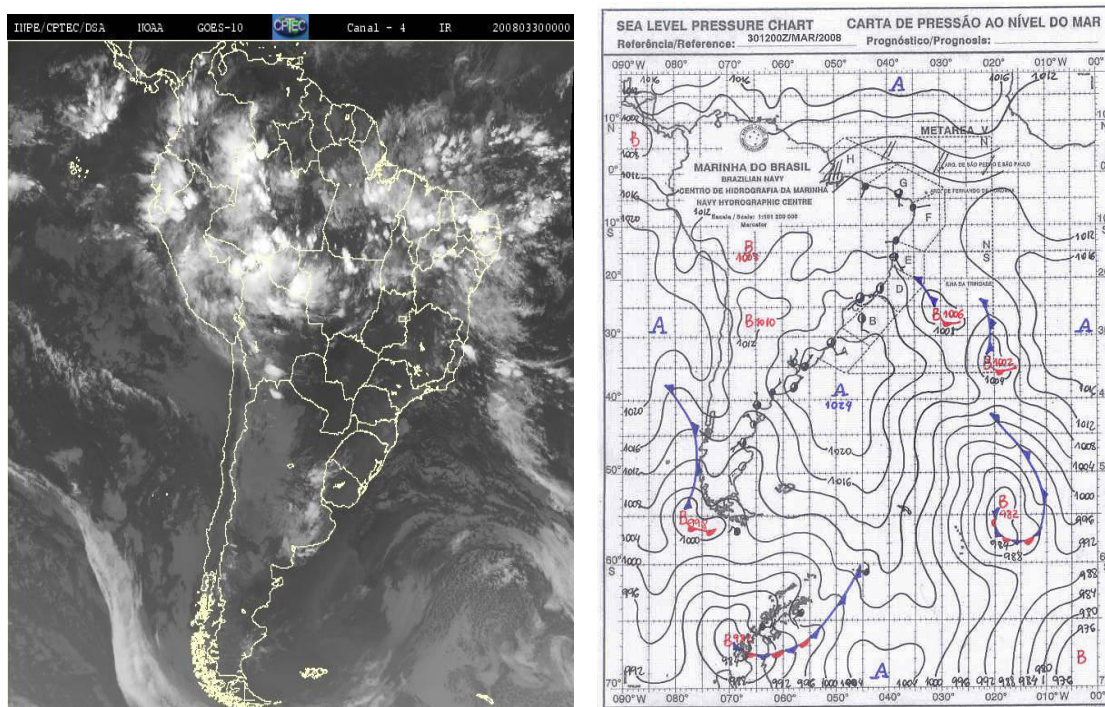
CCMS – Complexos Convectivos de Mesoescala

5.3 – Os sistemas atmosféricos e eventos intensos na bacia do rio do Peixe

As precipitações de 2008 para o NEB e, especificamente, para a BHRP, situaram-se acima da média dos últimos 30 anos, como resultante de conjunções de diversos fatores, tais como a incidência de La Nina, do GRAD negativo para o Atlântico Sul e ainda de CCAS que protagonizaram precipitações entre 190 a 270 mm na área que compõe os municípios da Bacia do Rio do Peixe.

As imagens abaixo permitem analisar a ocorrência para o dia 30 de março de 2008 em que as precipitações fizeram com que o açude Lagoa do Arroz, construído há mais de 20 anos, viesse a sangrar pela primeira vez e que o rio do Peixe, recebendo os volumes dos seus afluentes a partir do açude Pilões, causasse inundações na zona urbana de São João do Rio do Peixe e Sousa e na zona rural Aparecida.

Figura 21 – (a) Imagem GOES 10 canal 4 IR de 30 de março de 2008, às 0:00 GMT (b) carta de superfície

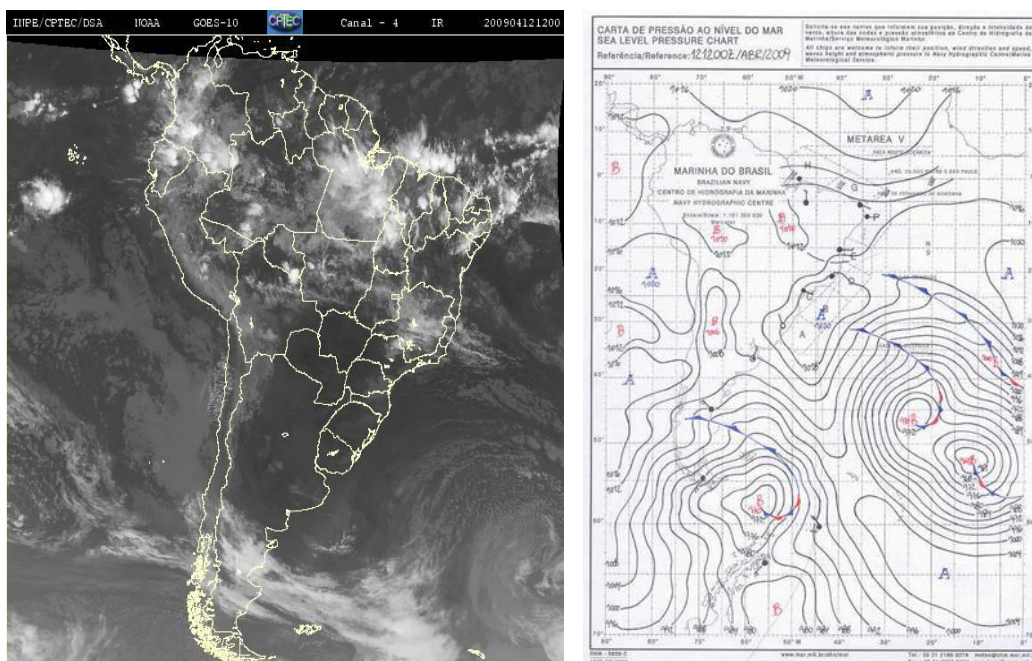


Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

Na imagem da figura 22 apresenta área da bacia totalmente encoberta por nuvens, as aletas no litoral em completamente preenchidas, a área sofrendo a influência tanto da mEc, quanto da ZCIT. Dois núcleos no centro do país são presentes uma Alta pressão eq 60 W e uma baixa pressão em 45W. Este núcleos devem influenciar a evaporação e o deslocamento

de umidade para o norte. A conjunção com a ZCIT fica bem visível, devido aos núcleos de cumulus nimbus que formam uma linha sobre o Ceará, Piauí e Maranhão.

Figura 22 –(a) Imagem GOES 10 canal 4 IR (b) Carta de superfície do dia 12/04/2009.



Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

Nas imagens das figuras 19 e 20 é possível observar a presença da ZCIT, como o sistema mais atuante em nível regional, para o dia 30/03/2008, conforme Melo et all (2009) ,

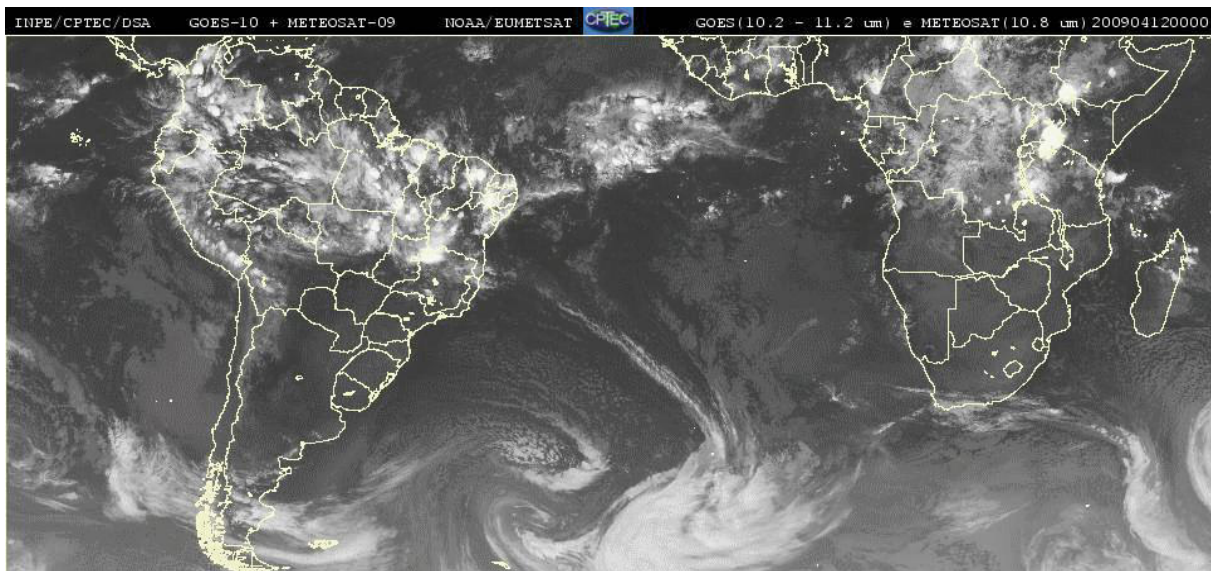
“Um conjunto de variáveis meteorológicas que atua sobre a faixa equatorial dos oceanos pode definir a ZCIT, a saber: A Zona de Confluência dos alísios (ZCA), a região do cavado equatorial. As áreas de máximas Temperatura da superfície do Mar (TSM) e de máximas convergência de massa, e a banda de máximas cobertura de nuvens convectivas”.

Assim é possível relacionar as imagens a ocorrência de uma conjunção com outros sistemas associados a ZCIT para a intensificação deste evento, podendo ter a concorrência de Linhas de Instabilidade (LI) conjungado com um cavado em médios e altos níveis que veio da costa para o interior, ainda combinado com os alto relevos ao norte da BHRP, a serra do Padre com altitudes em torno de 700 metros, com picos de 800 metros.

Na figura 23, dia 12 de abril essa possibilidade é bem mais vislumbrada na imagem Goes /Meteosat de 12:00 GMT pois já é possível observar a formação do cavado equatorial e na figura nº 35, mais ampla, é possível verificar a conjunção de ZCAS, com a ZCIT, com um posicionamento bem ao sul confirmando a possibilidade de “banda dupla”

WALISER e GAUTIER (1983) e UVO (1980), que resultou nas altas precipitações levando as inundações da área.

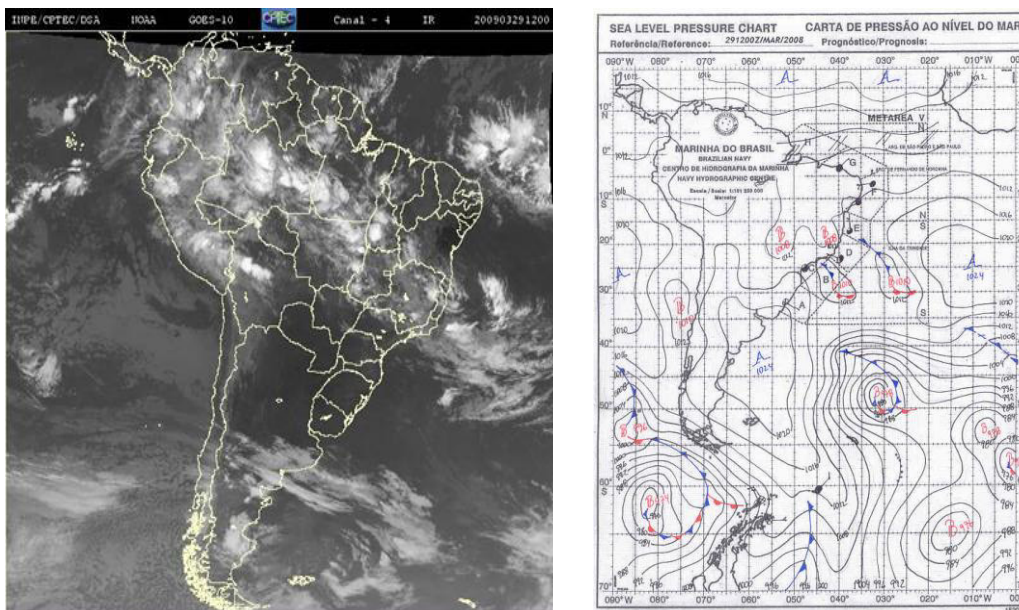
Figura 23 – Imagem GOES 10 + METOSAT 09 de 12 de abril de 2009.



Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

As análises de cartas de superfície disponibilizadas pela marinha para os dias 29, 30 e 31 de março, mostram que na carta 29/3/08c - 12Z (9h local) há uma atuação da mEc.

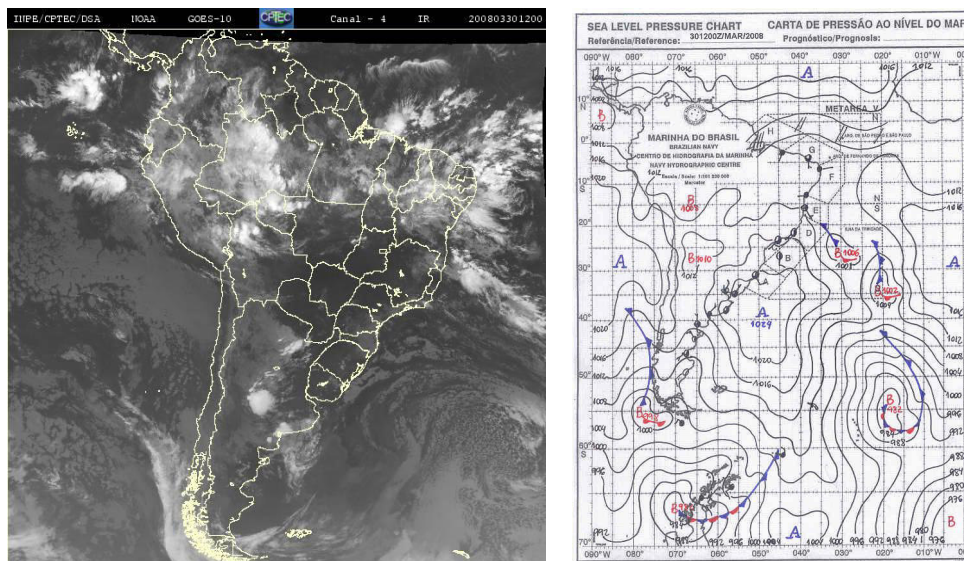
Figura 24 - Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 29/03/2008 (a) e (b) Carta de superfície.



Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

A atuação de um sistema de baixa pressão atmosférica, em termos geográfico como a mEc (massa equatorial continental), trás instabilidade, mal tempo, provocador de chuvas. O sistema de baixa ou a depressão atmosférica se encontra em processo de dissipação, com a formação de dois núcleos na latitude 20 S. Já a carta 30/3/08 – 00Z (21h local) mostra a atuação da mEc.

Figura 25 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 30/03/2008 (a) e T(b) Carta de superfície.



Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

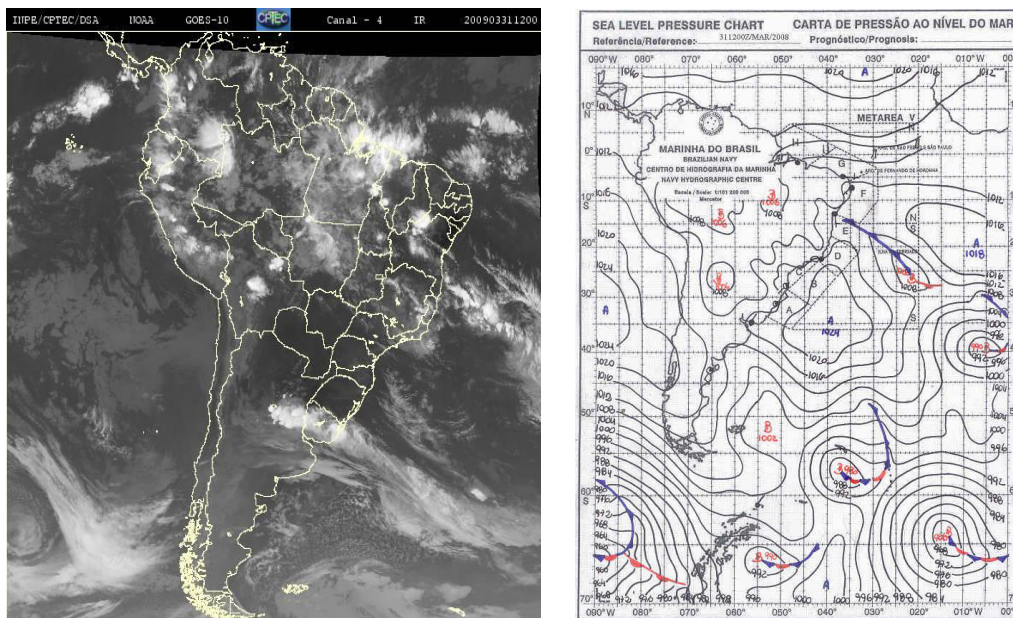
O sistema de baixa ainda permanece sobre a área de estudo, após o processo de dissipação os centros de baixa se apresentam agora com um núcleo de 1009 hPa (hectopascal-unidade de medida de pressão atmosférica) mais próximo da área da pesquisa.

As cartas 30/3/08 (12Z) e 31/3/08 00Z correspondem ao dia 30/03/08, sendo respectivamente 9 e 21 horas local da data 30/03/08, isso por conta do fuso horário. A carta 30/03/08- 12Z (9 h local) mostra atuação da mEc que é um sistema de baixa e ainda permanece sobre a região com centro de 1008 hPa. Há uma associação desse sistema com a ZCIT na região norte- Belém, mostrado nas imagens de satélite que essa associação ocorreu na área de estudo.

Na carta do 31/03/08- 00Z (21 h local) observa-se a atuação da mEc. O sistema de baixa ainda atuante na área de estudo, em processo de dissipação com o núcleo de 1006 hPa. Na carta 31/03/08- 12Z (9h local) atuação da mEa com uma depressão atmosférica se

organizando em vários núcleos, o mais próximo da bacia se apresenta com um núcleo de 1006 hPa, o processo de dissipação cessa agora exibindo uma contração da isóbara de 1008 hPa.

Figura 26 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 31/03/2008 (a) e (b) Carta de superfície.

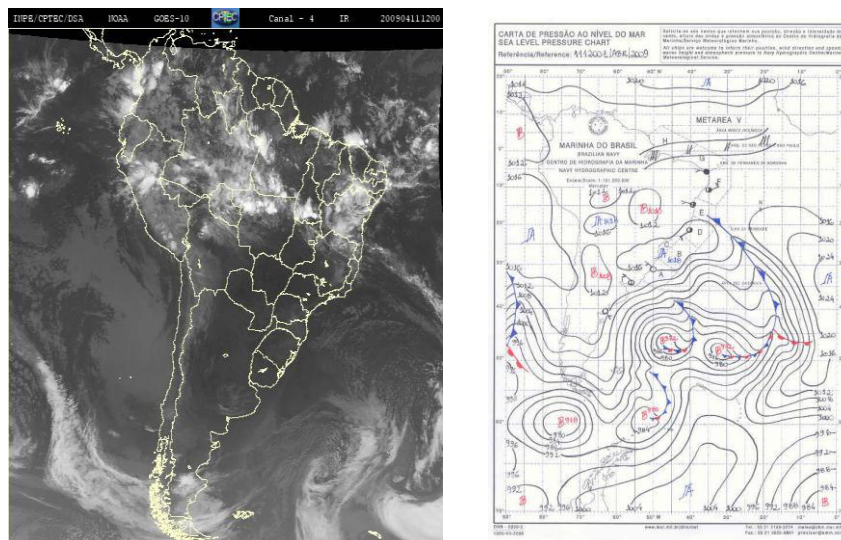


Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

Como exposto esses episódios do final de março início de abril mostrou o domínio da ZCIT, porém, em atuação com outros sistemas principalmente com a mEc, pois é comum processos de associação, com os sistemas de instabilidade como a ZCIT e os VCANS, nesse período do ano.

Os eventos de abril de 2009, registrados nas cartas mostram que as cartas 11/4/09 (12Z) e 12/4/09 00Z – correspondem ao dia 11/04/09, sendo respectivamente 9 e 21 horas local da data 11/04/08. A carta 11/04/09- 12Z (9h local) mostra a atuação da repercussão da ZCIT. Nesse dia pode ter ocorrido a repercussão tanto da ZCIT como da mEc, ou ainda associação desses sistemas, em repercussão da mEc com um núcleo de 1010hPa na lat 15 S.

Figura 27 –Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 11/0/2008 (a) e (b) Carta de superfície.

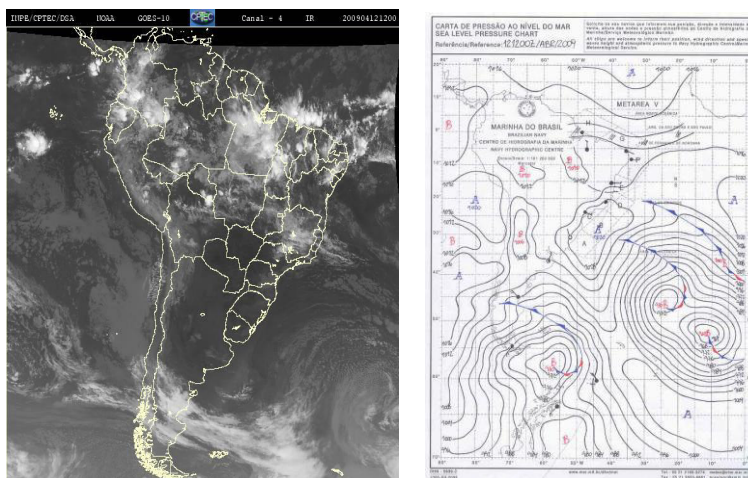


Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

A carta 12/04/09- 00 GMT (21h local) mostra a atuação da mEc, com uma repercussão da ZCIT, conforme Nimer (1964, pg.23), nesse horário o sistema depressionário se desenvolve e ocorre uma dissipação com a formação de três núcleos, sendo o mais desenvolvido atuante na área da pesquisa com o núcleo 1010hPa, agora bem mais expressivo do que aquele núcleo da manhã as 9h.

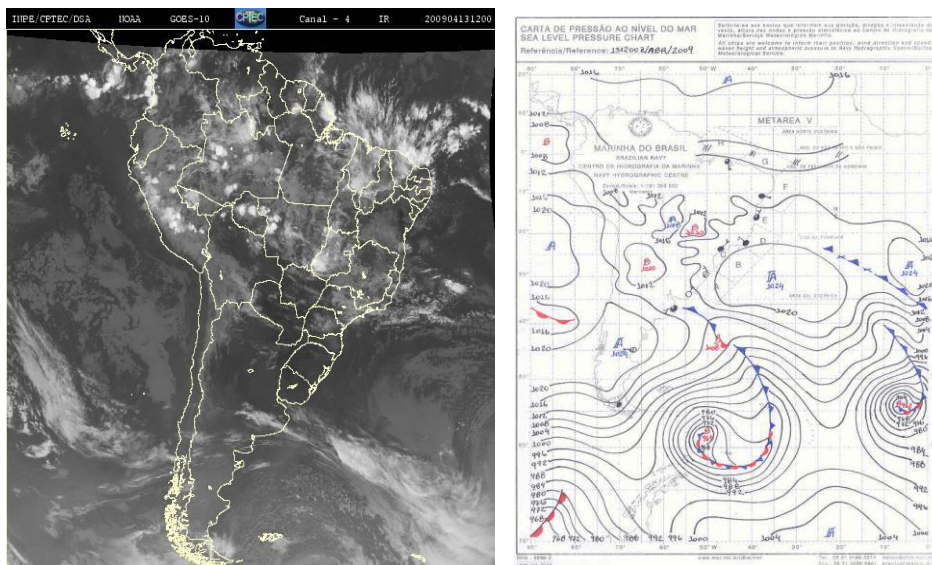
A carta 12/04/09 – 12:00 GMT (9h local) mostra ainda a atuação da mEc, com, possivelmente uma associação da ZCIT e a mEc, essa associação vai ser mais expressa no período da noite as 9h. O sistema trás condição de muita nebulosidade na região (ver as aletas, que significa céu completamente coberto por nuvens, possivelmente cumulonimbus).

Figura 28 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 12/04/2008 (a) e (b) Carta de superfície



Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

Figura 29 – Imagem GOES 10 canal 4 IR, de 12/04/2008 (a) e (b) carta de superfície.



Fonte – www.inpe.cptec.br e www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm

Para a carta 13/04/09- 00Z (21h local) a atuação ainda da repercussão mEc e a confirmação da situação de expansão do sistema de baixa pressão, agora mais fortalecido. O núcleo do sistema de baixa apresenta-se agora com 1006 hPa, estando mais próximo da área da pesquisa e mais fortalecido o que favorece maior condição de instabilidade atmosférica sobre a bacia, a grosso modo intensifica as chuvas.

As enchentes/inundações nas cidades do Alto Sertão e Baixo Sertão Paraibano que estão conjugadas com os eventos atmosféricos intensos ressaltam a importância do aprofundamento da pesquisa, no semiárido e no setor do Sertão da Paraíba, inseridos dentro de micro regiões homogêneas de precipitações. Os eventos de 30 de março de 2008 e 12 de abril de 2009 ocorridos na BHRP e no município de Patos são resultantes de conjugações entre a ZCIT/mEc, a ocorrência de VCANS, DOL e LI, presença da ZCAS e ainda com variáveis locais como a presença de relevos de altitude na parte norte da BHRP.

CAPÍTULO VI

A ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO DO PEIXE

Neste capítulo, trataremos da análise dos aspectos morfométricos da bacia do rio Peixe, que é um aspecto técnico que envolve a geomorfologia e a hidrologia e que abre a perspectiva de mostrar que o arcabouço ambiental, a forma da bacia, o comprimento dos canais, a densidade dos canais por km² e outros índices servirão de base para a análise do objeto estudado.

Os parâmetros morfométricos, ou melhor, o cálculo dos parâmetros morfométricos, foge do domínio da geografia e adentra-se no domínio da hidrologia e engenharia. Para esta pesquisa realizou-se uma descrição e uma classificação da tipologia da drenagem, bem como o cálculo de alguns índices referentes a forma, a densidade de drenagem, índice de bifurcação, coeficiente de manutenção, entre outros.

Esses índices estão embasados em leis já estabelecidas por HORTON (1945), STRALER (1954), SHUMM (1967) e seguindo a metodologia indicada por CRISTOFOLLETI (1980), que inicia pela análise linear areal, depois a análise areal (área e perímetro) e cálculos de índices da aptidão da forma da bacia às inundações.

A análise linear do rio do Peixe mostra que é uma de drenagem exorreica e com seu fluxo sendo compostas por outras sub-bacias. Ao longo de seu curso recebe significativas contribuições de onze sub-bacias, sete delas à margem esquerda: *Riacho Poço Dantas, Riacho Morto 2, Riacho das Araras, Riacho da Serra, Riacho Boi Morto, Riacho do Açude Chupadouro, Riacho Morto 1*; as outras quatro à margem direita: *Riacho Condado, Riacho Jussara, Riacho Cacaré, Riacho Zé Dias*, desaguando, finalmente, na confluência com o Rio Piranhas, no município de Aparecida.

Em seu trajeto, o rio do Peixe apresenta canais quase retilíneos no seu curso superior, devido a captura realizada pelas falhas de Porta Alegre e faz com que seu curso seja no sentido Norte – Sul. De suas nascentes no município de Bernardino Batista até o município de Poço José de Moura o rio do Peixe se apresenta, ainda não está encaixado as falhas.

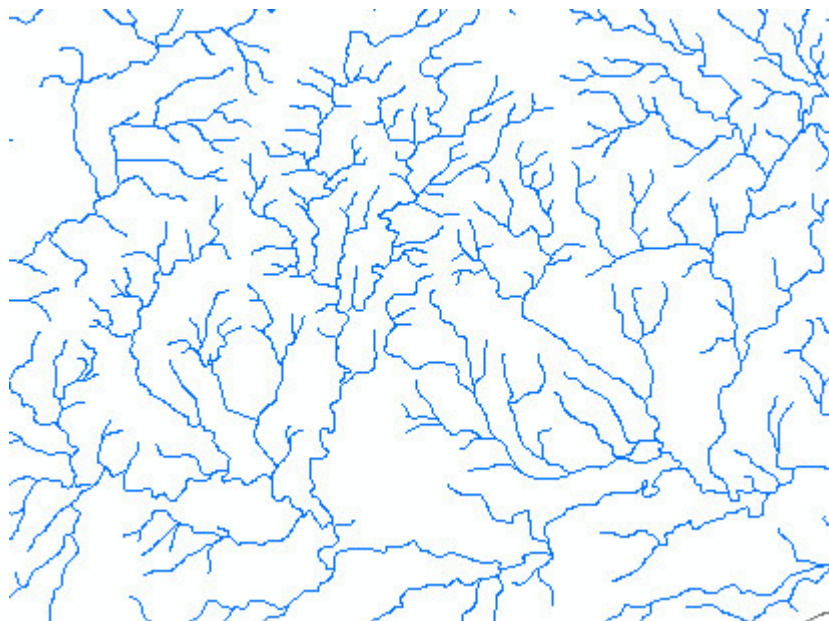
Figura 30 - Tipos de canais na bacia do rio do Peixe e afluentes



Da esquerda para adireita semi anastomosado, anastomosado e meandrício.

O rio do Peixe apresenta-se como de 7^a ordem na classificação estabelecido por Strahler (1954) apresentando padrões dentríticos, anastomosados e semi-anastomosado, principalmente no baixo curso com evidente controle estrutural devido a variação e desigualdade da resistência das camadas , como na figura 30.

Figura 31 – Padrão dentrítico e arborecente do rio do Peixe.



6.1 - Análise linear da BHRP

A análise linear tem por objetivo observar o comportamento das relações e índices ao longo do fluxo da rede de drenagem, baseados nos preceitos da hierarquização de HORTON (1945), modificados por STRAHLER (1954), onde se consideram como de primeira ordem, as nascentes ou todos os canais que não têm contribuintes e os canais subsequentes são de segunda ordem, terceira etc. Para a BHRP encontram-se os seguintes parâmetros:

Tabela 7 – Análise linear da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, PB

Ordens	Nº / Segme ntos	Extensão (Km)	Comp.médiode canais Lm (m)	Índice de bifurcação	RLm	Rtb
1ª	6937	34.038	490,67	-		
2ª	3049	14.058	461,06	2,27	1,06	0,7
3ª	1508	6.589	436,93	2,02	1,04	0,51
4ª	870	3.616	415,63	1,73	1,05	0,6
5ª	490	2.009	410,01	1,77	1,01	0,57
6ª	322	1.142	354,65	1,52	1,15	0,75
7ª	1	0.712	343,96	1,55	1,03	0,66
TOTAL	13383	61.452	-	-	-	-

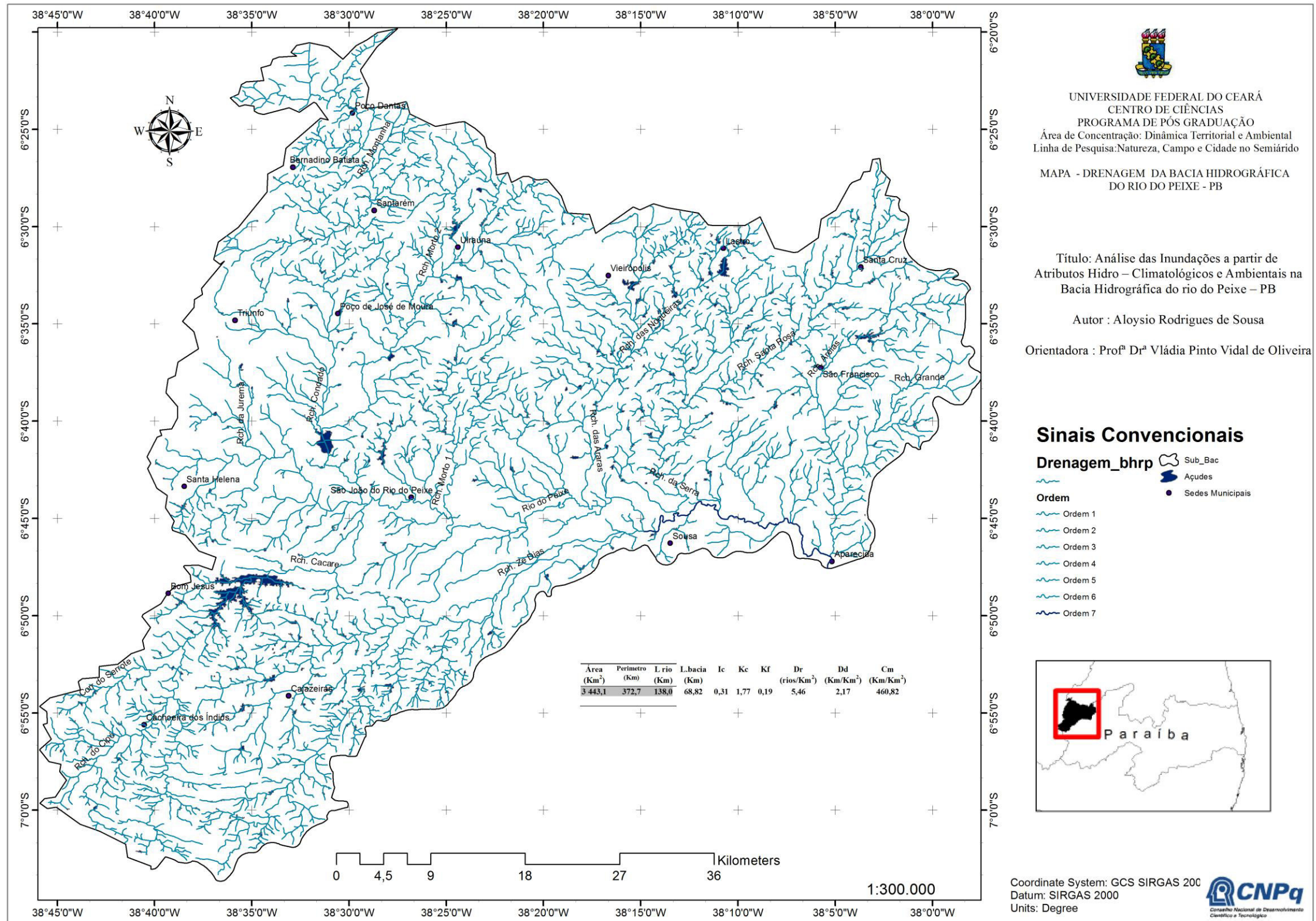
Conforme a Tabela 5 a BHRP apresenta um total de 13383 segmentos, sendo que na 1ª ordem se tem 6937, na 2ª ordem 3049, na 3ª ordem 1508 segmentos discretos, na 4ª ordem 870, na 5ª ordem 490 segmentos, na 6ª ordem 322 segmentos e na 7ª ordem encontramos 1 segmentos discretos, apresentado no mapa nº 07.

A extensão total de todos os canais é de 61.452 km, correspondendo ao somatório de cada segmento/ordem conforme a Tabela nº 2 na segunda coluna. O comprimento médio **Lm** se constitui da relação entre o total da extensão dos segmentos de cada ordem e o número de segmentos desta ordem.

O índice de bifurcação é a relação entre o número total de segmentos de uma ordem e o número total da ordem imediatamente superior, que indicam o grau de dissecação da bacia, ou seja, quanto maior for o valor do índice maior será o grau de dissecação. Para a BHRP os índices se situaram entre 1,52 e 2,27

A relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (**Rtb**) se constitui em fator que mostra a relação entre a composição da drenagem e o desenvolvimento das bacias, pois são “*os fatores hidrológicos, morfológicos e geológicos que determinam o ultimo grau do desenvolvimento da drenagem em determinada bacia*” (CRISTOFOLETTI: 1988). Essa relação para a BHRP teve variações entre 0,50 e 0,70.

MAPA 9 – Drenagem da bacia do rio do Peixe



Os dados de sua forma, em leque aberto, ou mesmo de anfiteatro, mostram um área (**A**) de 3443,1 Km², com perímetro (**P**) de 372,7 km e comprimento do rio de 138 km. A altitude de sua nascente é de 640 metros e sua cota no exutório é de 200 metros, portanto com um desnível ou amplitude altimétrica (Δh) de 440 metros. O comprimento da bacia, medido entre o ponto mais alto e a foz é de 68,82 Km.

A forma da bacia é um dos aspectos mais importantes para obtenção de todos os outros índices e também pela influência que exerce no tempo de concentração e transformação da precipitação em escoamento e sua constatação na seção de controle. Na BHRP o coeficiente de compacidade **Kc**, que é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de igual área, sendo portanto um número adimensional, foi igual a 1,77.

O índice de Gravelius ou fator de forma (**Kf**) que expressa a relação entre a largura média da bacia e o comprimento axial foi encontrado o valor de 0,19. O índice de conformação (**Ic**), que expressa a relação entre área e um quadrado de lado igual ao comprimento axial, é de 0,31. Este índice analisado conjuntamente ao coeficiente de compacidade **Kc** expressa a capacidade da bacia de gerar enchentes. A Densidade hidrográfica ou de rios (**DR**), que é relação entre o número total de rios ou cursos d'água e área da bacia (**DR**) foi igual a 0,56 e a Densidade de drenagem (**Dd**), que é a relação entre a somatória total do comprimento dos canais e a área da bacia, para a BHRP foi obtido o índice de 2,17 Km/ Km²

Por último o Coeficiente de manutenção (SCHUMM: 1956), que tem a finalidade de fornecer a área mínima para a manutenção de um metro de canal de escoamento, sendo a relação entre a 1 (um) quilometro quadrado e Densidade de drenagem, para a BHRP foi de 460,82. Muitos destes índices estão discriminados na Tabela nº 5.

Tabela 8 – Análise areal da rede hidrográfica da bacia do Rio do Peixe

Área (Km ²)	Perímetro (Km)	L rio (Km)	L.bacia (Km)	Ic	Kc	Kf	Dr (rios/Km ²)	Dd (Km/Km ²)	Cm (Km/Km ²)
3 443,1	372,7	138,0	68,82	0,31	1,77	0,19	5,46	2,17	460,82

6.2 - Análise hipsométrica da BHRP

A declividade do curso principal (Alveo) visa perceber a influência da velocidade do escoamento da água na calha da bacia e o tempo de concentração. Para a BHRP foi seguido o cálculo direto na base entre a diferença das cotas da nascente e do exutório e o comprimento **L** do rio. Para a BHRP a declividade do curso Principal (Alveo) foi de 3,18%, conforme as formula demonstradas na tabela.

O índice de rugosidade expressa as qualidades de declividade e comprimentos das vertentes com a densidade de drenagem e está relacionado com a presença de cheias abruptas. Para a BHRP este índice foi de 510,4. Para a Bacia do rio do Peixe a análise morfométrica permite a análise que os índice de **Kc**, **Kf** e **Ic**, respectivamente 1,77; 0,19 e 0,31 mostram que a bacia não é propensa a enchentes.

O índice **Kc** ou Coeficiente de compacidade quanto mais próximo a unidade mais assemelha-se a um círculo e portanto mais sujeita a eventos de cheias, para o índice de Gravelius (**Kf**), a bacia não é propensa a enchentes visto que o índice é menor que 0,50 e portanto não sujeita a enchentes e por fim o Índice de conformação (**Ic**) que expressa a capacidade de gerar enchentes, quanto mais próximo de 1 maior a propensão, podendo assumir valores acima e abaixo de 1, para a BHRP foi de 0,31 o que demonstra que a bacia tem tendência mediana a enchentes e se pode concluir que apesar de não ser propensa a enchentes e se ocorrem poderão não ser incisivas.

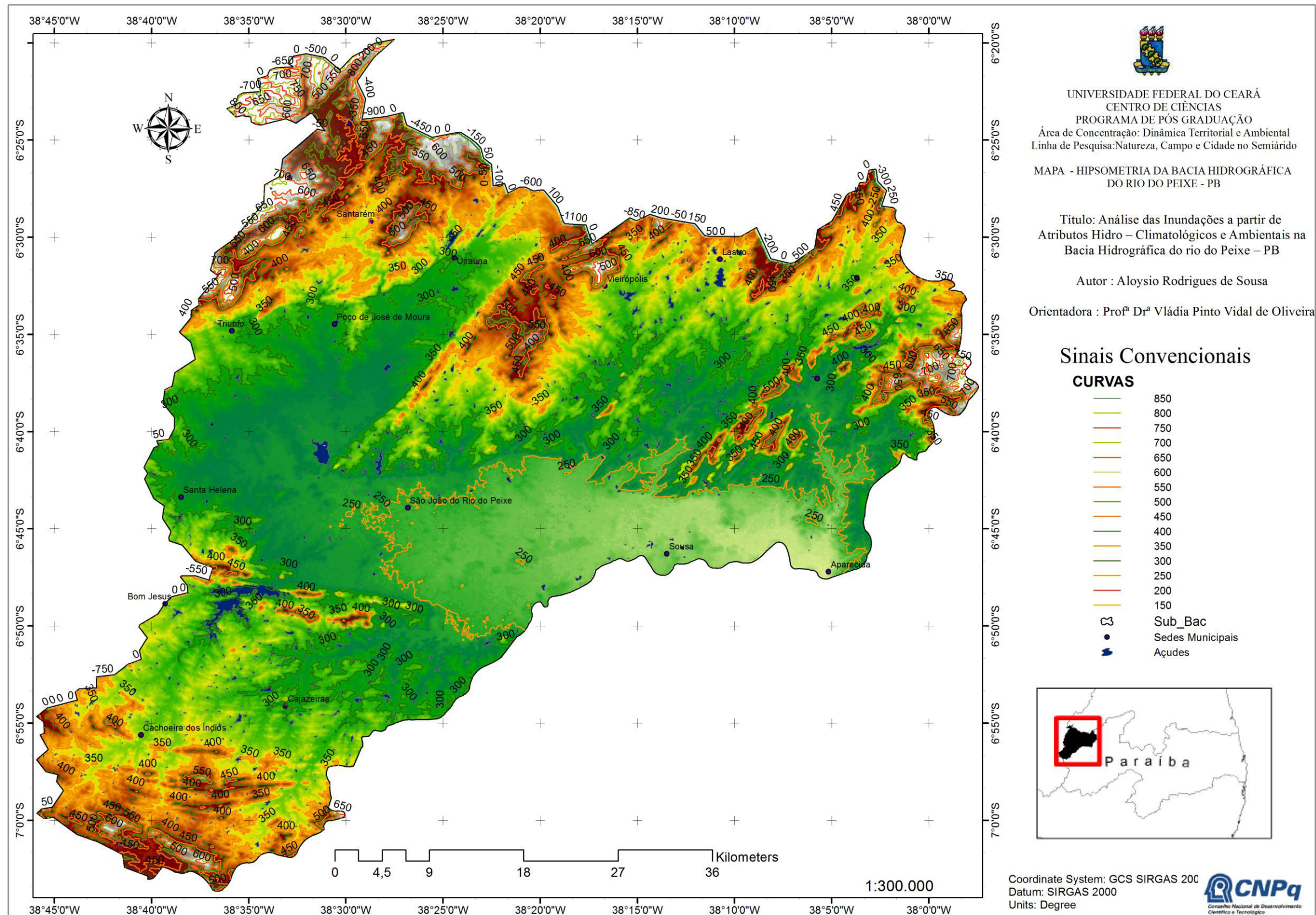
A densidade de drenagem (**Dd**), a densidade de rios (**Dr**) e o coeficiente de manutenção respectivamente 2,44; 1,03 e 460,82 permitem deduzir que a densidade de drenagem é mediana visto que segundo Vilela (1977) a variação fica entre 0,5 Km/ Km² para bacias com drenagem pobre a 3,5 Km/Km² para bacias excepcionalmente bem drenadas.

O coeficiente de rios (**Dr**) reflete as mesmas características do índice anterior, entretanto esse índice permite afirmar que quando não há controle estrutural dos canais, o índice é sempre superior a densidade de drenagem. No caso da BHRP, o índice da densidade de rios é bem inferior e mostra que esse controle é forte ratificando o já exposto. A densidade de drenagem ainda permite afirmar que apesar da bacia sedimentar existente, o entorno cristalino impede a infiltração e o escoamento se faz de maneira mais rápida, sem favorecer a infiltração e a recarga do lençol freático, com exceção das áreas do baixo curso rio do Peixe.

A análise linear da BHRP mostra que os índices para a 4ª e 6ª ordens com menores índices de bifurcação indica um relevo menos dissecado, portanto mostrando que

existe uma mudança de litologia das nascentes até o contato com os sedimentos e logo depois a exumação de corpos graníticos novamente aumenta a dissecação e novo contato o os sedimentos diminui o índice na ordem 6^a. O trecho do médio curso apresenta um índice de bifurcação de 1,43 e corresponde a exatamente a essa superfície supracitada.

MAPA 10 - Hipsometria da bacia do rio do Peixe



O incremento dos índices de 1,43 e 2,44 revela uma maior dissecação do relevo e a presença de poder erosivo mais intenso, onde o escoamento fluvial está esculpindo a esculturação da planície, corresponde a evolução de entalhamento do rio, demonstrando um ativo processo de regressão erosiva, ao mesmo tempo o incremento deste índice no baixo curso, onde a urbanização está mais desenvolvida pode indicar um grande número de canais pluviais e não canais fluviais que deveriam terem sido excluídos para o computo geral dos canais.

De modo que se evidencia que as inundações são a conjugação de fatores climáticos e geomorfológicos, ainda nessa análise sem a intervenção da urbanização presente no baixo curso e o uso da planície fluvial para as atividades relacionadas a agricultura. Contudo, pode-se afirmar que o arcabouço geomorfológico não é potencialmente propenso a cheias e elas ocorrem dado a conjugação de fatores climáticos da ZCIT e variáveis adicionais como a ocorrência de VCANS e ENOS e ainda da interface com relevo de altitude em torno de 800 metros, ao norte nas nascentes do rio do Peixe.

CAPÍTULO VII

A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO SEMIÁRIDO.

Este capítulo discorre sobre as inundações em regiões semiáridas e semiárido colocando as características que levam ao fenômeno, definindo o que seja árido e semiárido e apresentando as inundações na bacia do rio do Peixe. As características únicas do semiárido nordestino se diferenciam de outros ambientes áridos e semiárido muito mais pelas irregularidades das precipitações do que pelo volume e condições geográficas.

A concentração, nos anos regulares e/ou chuvosos, em apenas 4 a 5 meses do ano faz da região um ambiente semiárido, mas não explica a questão da amplitude das precipitações maiores e algumas vezes superiores a ambientes subúmidos. Desse modo só o recorte do lugar, sua individualização e as interrelações em nível regional e na macro escala, vai permitir dissecar a complexa trama das relações, no caso desta pesquisa, das relações do ambiente, suas características físicas e suas relações com os sistemas transientes atmosféricos.

Tratará brevemente da análise do sítio das cidades de São João do rio do Peixe e Sousa, no contexto da localização geográfica, da declividade das cidades, da organização do solo urbano e dos impactos negativos das estruturas construídas no tecido urbano em relação ao ambiente, a calha do rio e as condições de segurança ambiental para as populações que ali residem.

Os municípios de Sousa e São João do rio do Peixe são bastante antigos na sua fundação e ali reside uma população de 65 803 pessoas em Sousa e 18.211 pessoas em São João do rio Peixe que já foi conhecida pelo nome de Antenor Navarro. Essas cidades fazem parte da microrregião de Cajazeiras e Sousa que forma a Mesoregião do Alto Sertão Paraibano.

A cidade de Sousa é um polo econômico poderoso devido a exploração dos recursos naturais do petróleo, ainda não em execução e da agricultura irrigada de produtos como coco, banana, arroz e recentemente girassol, frutas de exportação e água mineral. A cidade de São João do Rio do Peixe também está dentro desta área de solos férteis, propícios para a agricultura irrigada, com áreas de exploração de banana e coco.

7.1 – O caso das inundações no semiárido Paraibano.

A região semiárida do Nordeste brasileiro (o sertão) estende-se por cerca de 900 mil km² e se caracteriza por médias pluviométricas anuais oscilando entre 300 e 800 mm. Em sua porção nuclear (em torno de 500 mil km²), a pluviometria anual é inferior a 600 mm (Ab´Saber, 1974). O domínio semiárido está longe de ser homogêneo, manifestando características conforme os fatores geocológicos locais. Constitui um mosaico variado de paisagens, já bem caracterizados por muitos estudiosos, desempenhando o relevo regional importante papel na determinação das diferenças (MELO 1958; MONTEIRO, 1988).

As inundações do rio do Peixe estão relacionadas com seu regime hídrico, que é sazonal, relativo apenas ao período chuvoso, próprio do ambiente semiárido com precipitações concentradas quando as condições meteorológicas são favoráveis e por vezes anos sem nenhum episódio de cheia por falta de volume d’água quando dos períodos secos. Entre esses extremos há os períodos de normalidade que corresponde as normais climatológicas para a região.

As inundações do rio do Peixe está longe de se constituírem algo que poderia ser relacionadas com as intervenções contemporâneas de construções de açudes, aumento da malha urbana das cidades, principalmente àquelas que se sofrem as inundações, a utilização de áreas na montante do rio do Peixe para retirada de vegetação ou ainda das transformações do ambiente para implantação da agricultura de sequeiro e agricultura irrigada.

Existem registros fotográficos que correspondem a episódios relativos ao início do século XX, mais especificamente das décadas de 1940 e 1960, portanto, as inundações são conhecidas mesmo antes da migração das populações do campo para a cidade e das atuações cada vez mais predadora sobre o ambiente.

É possível afirmar que a partir de 1964 esses fenômenos se intensificaram com uma população cada vez maior de desabrigados. Essas pessoas são residentes na área onde regularmente o rio escoar seu fluxo, ou seja, o leito menor. Muitas vezes com o inchamento dessas cidades não só moradias são aí construídas, mas grandes empreendimentos como fábricas, olarias, posto de gasolina e outras atividades que buscam a proximidade do escamento para lançar seus dejetos ou rejeitos.

Figura 32 – Registro fotográfico de inundações de 1947 e 1964.



Fonte: Ferraz, Augusto- Além do Rio, 2011.

A tabela 5 mostra os registros de precipitações em alguns postos situados na área da bacia, de anos de inundação que possuem registros, durante este intervalo de tempo.

As precipitações do ano de 2008 foram as mais intensas na área da bacia, muito superior à média histórica que é de 912,1 mm. Durante o mês de março de 2008 os registros mostram que as precipitações na bacia alcançaram 516,6 mm e que 64% destas ocorreram em apenas 9 dias. As precipitações de 2009 se situaram em torno de 310 mm, 62% deste volume d'água em apenas 6 dias, conforme a informação do SINDEC – Sistema de Defesa Civil.

As precipitações nestes dois anos desabrigaram 14 967 pessoas em 2008 e 3500 pessoas em 2009, totalizando 18.467 pessoas. As perdas econômicas só em 2008, no setor da agricultura totalizaram 3 mil toneladas de cereais, 8 mil toneladas na agricultura irrigada de frutas e 160 toneladas em horticultura. (SINDEC, 2009)

Tabela 9 – Precipitação anual associadas as inundações nos municípios da BHRP entre 1972 e 2009

Ano	Cajazeiras	Uiraúna	Sousa	Aparecida	S. J. Rio do Peixe	Episódio
1972	946,9	-	-	-	999,0	-
1973	1017,1	-	-	-	-	-
1974	1346,2	1233,6	-	-	**1158,8	-
1975	1100,4	960,0	-	-	959,3	-
1977	**1301,8	1050,0	1401,2	-	1296,1	**Inundação
1978	1283,8	-	877,5	-	938,7	-
1979	883,4	-	832,7	-	-	-
1980	852,7	839,7	-	-	-	-
1981	824,5	-	-	-	-	-
1982	944,9	-	-	-	-	-
1984	-	965,0	919,4	-	901,0	-
1985	-	**1604,2	**1579,8	**1653,2	**1482,0	**Inundação
1990	871,6	820,6	914,4	920,0	976,3	-
1994	1238,7	848,9	1092,4	838,3	990,7	-
1995	928,0	822,6	1016,6	920,4	938,5	-
1996	1382,5	947,7	1224,8	881,4	**1112,8	**Inundação
1997	1137,3	-	852,7	-	922,0	-
1999	1169,0	-	895,3	998,1	806,2	-
2000	1331,1	1113,0	1164,7	987,4	**1335,3	**Inundação
2002	1026,7	1091,9	1091,2	-	1037,0	-
2003	920,0	-	-	-	-	-
2004	1234,8	1055,5	1075,0	808,0	1060,6	**Inundação
2006	1096,4	839,4	1129,4	808,8	1242,6	**Inundação
2007	885,0	-	803,4	-	-	-
2008	**1709,1	-	**1750,0	**	**1269,6	**Inundação
2009	-	-	-	-	1 313,0	**Inundação

Fonte: <http://site2aesa.pb.gov.br/> Anuário de Precipitações dos Municípios da Paraíba de 1972 – 2009 (Adaptado pelo Autor)

Os danos a residências registraram mais que 500 casas atingidas, rede de esgotos e água danificadas, estradas, bueiros e passagens molhadas danificadas. Em 2009, embora tenha sido menor o volume precipitado a calamidade se instalou devido ainda a não recuperação dos danos causados no ano anterior. Houve prejuízos na agricultura da cultura de feijão de 80% da safra, arroz perdas de 30% somando um total de R\$ 1.498.330,00 (SINDEC, 2009).

Figura 33 – Registros fotográficos da Inundação de 2008 em SJ do rio Peixe (1) e em Sousa (2).



Fonte - Autor (diversos)

Figura nº 34 – Registros fotográficos da inundação (1) e dos desabrigados em Sousa (2) (2009)



Fonte: Autor (diversos)

Nesta região o período chuvoso se estende por três ou quatro meses, concentrando-se nos meses de dezembro a março, eventualmente podem chegar a abril e excepcionalmente podem chegar a junho, quando se trata de anos atípicos, com climatologias acima de 1300 mm.

Sempre de distribuição irregular, as precipitações ocorrem de forma concentrada por vezes com totais entre 100 e 200 mm em apenas algumas horas e anos em que apenas se atinge a normal climatológica entre 800 a 950 mm. A irregularidade das precipitações proporciona a ilusão que as inundações não acontecerão e as populações continuam a ocupar e até mesmo a voltar a residir nas áreas em que foram muitas vezes retirados por ações do poder público.

Observa-se que as inundações estão sempre relacionadas a precipitações acima de 1000 mm nos postos das cidades de São João do rio do Peixe (Antenor Navarro), Sousa e Aparecida. Observa-se também que quando as precipitações se situam dentro da normal

climatológica da área, em torno de 912,3 mm, não há ocorrência de inundações como entre os anos de 1978 a 1984.

7.2 – Os impactos antrópicos sobre a drenagem e a urbanização em São João do rio Peixe.

O município de São João do Rio do Peixe localizado no extremo oeste do sertão paraibano está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, mais precisamente, na sub-bacia sedimentar de Sousa que forma parte da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. De acordo com MATOS (1992) citado por CASTRO, 2005 p.302-303,

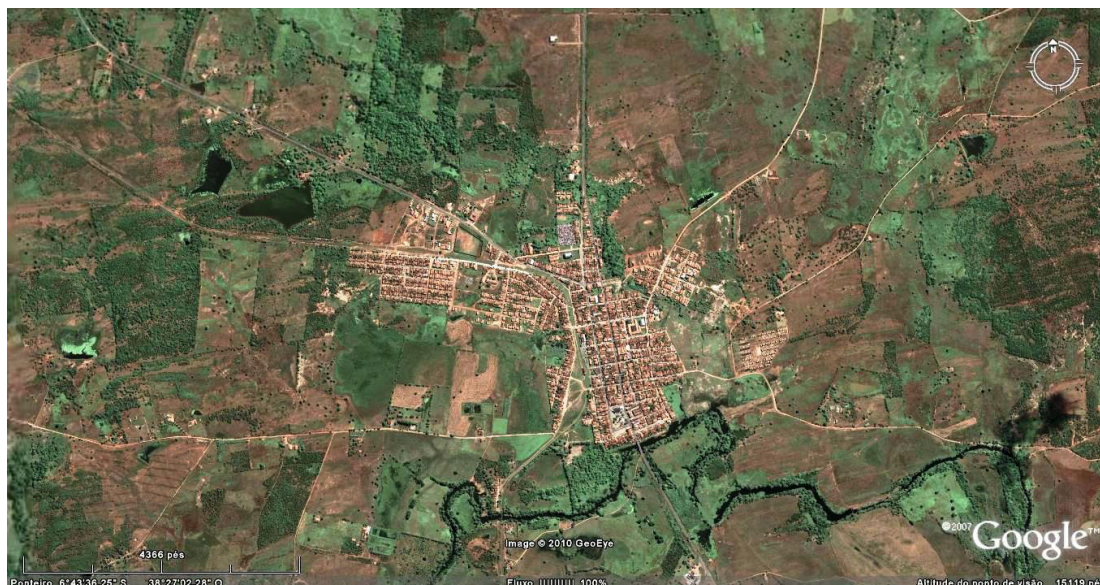
No extremo oeste do Estado da Paraíba encontra-se a bacia rifte Rio do Peixe, com uma área de cerca de 1.000Km². Esta faz parte de uma série de bacias sedimentares de pequeno a médio porte, formadas pelos esforços tectônicos que culminaram com a abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo Inferior. Seu arcabouço estrutural é composto por três domínios crustais distintos, intensamente deformados por extensas zonas de cisalhamentos e intrudidos por corpos graníticos. A bacia sedimentar é dividida em três sub-bacias, separadas por altos estruturais (Brejo das Freiras ou Triunfo, Sousa e Pombal) [...].

Segundo PEREIRA (2009) o processo de crescimento urbano de São João do Rio do Peixe se deu de forma espontânea, ou seja, a cidade foi gradativamente incorporando novas áreas. Esse processo, entretanto, se deu sem se levar em consideração as condições naturais do lugar. Assim, São João do Rio do Peixe foi invadindo o leito do rio do Peixe incorporando áreas impróprias o que resulta em vários problemas ambientais. Além disso, o aumento da população local, evidenciado, sobretudo, a partir dos anos de 1970, também contribuiu para intensificar os problemas urbanos, sendo as enchentes e a precariedade da oferta de alguns serviços de saneamento básico os mais frequentes nesta cidade.

Nas imagens de satélites Google Earth, se consegue visualizar a localização do sítio da cidade e a sua proximidade junto ao canal do rio Peixe. É possível observar que a cidade se desenvolveu as margens do rio e sua urbanização e uso dos solos conduziu ao desmatamento da mata ciliar, fato que ainda nos dias atuais continua essa prática.

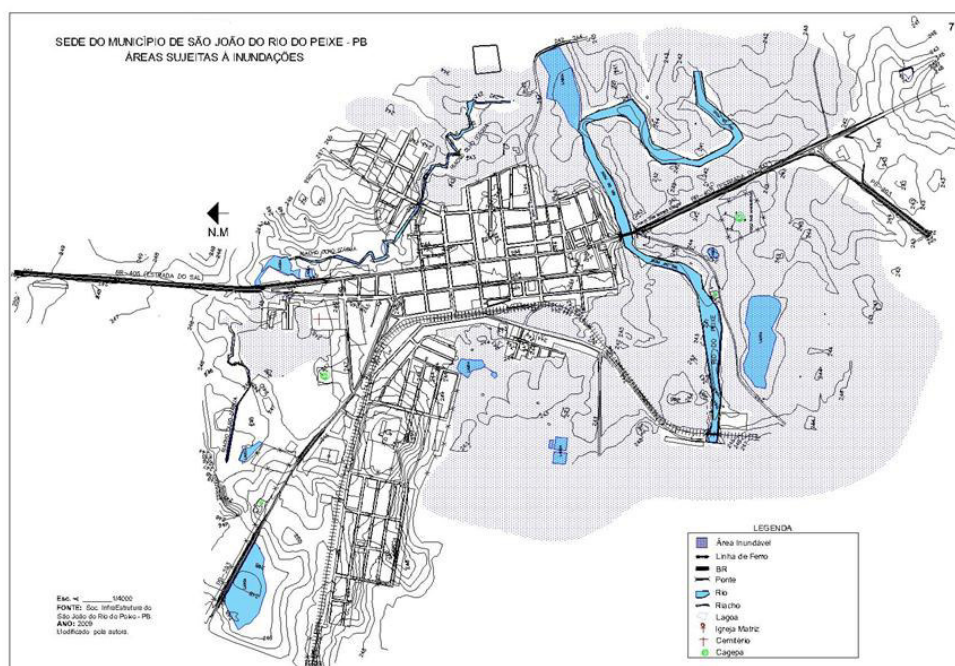
Na figura 35 a localização da cidade de São João do rio do Peixe observa-se que o rio tangencia a cidade que se desenvolveu na margem norte. A urbanização ainda em desenvolvimento ocupa nos dias atuais parte do sítio a noroeste e nordeste em direção a cidade de Uiraúna. A área de inundação se localiza nas proximidades da margem esquerda do rio do Peixe e cobre vasta área do centro urbano, conforme pode ser visto na figura 36.

Figura 35 – Imagem Google da localização da cidade de S.J.do rio Peixe.



Fonte: Google

Figura 36 – Áreas de inundação da cidade de São João do rio Peixe (2009).



Fonte: Pereira (2009)

Os problemas ambientais relatados no trabalho de Pereira (2009), embora se concentre na questão urbana do lixo deixa ainda uma lacuna quanto às agressões ao fluxo do rio provocado por barramentos que podem ser observados mesmo em imagens de satélites, como as da Figura 37. As imagens mostram os barramentos sucessivos no leito menor do rio,

além da interferência do lixo e da retirada da mata ciliar, que , que contribuem para que as margens desabem e o rio cada vez mais assoreado aumente lateralmente sua área de inundação.

Figura 37 – Barramentos no leito de escoamento do rio do Peixe.



A imagem superior mostra o setor Norte com a ponte da ferrovia e a segunda imagem a barragem de Ovidio Fernandes. Fonte: Google

Ainda no que se refere ao sítio urbano apropriado pela mancha de urbanização, outro aspecto importante está relacionado as altitudes das cotas de altimetrias da cidade, uma vez que, a menor cota registrada é de apenas 241 metros e a maior de 252. Embora, pareça insignificante em função da proximidade das cotas, esse dado se torna relevante, pois, a

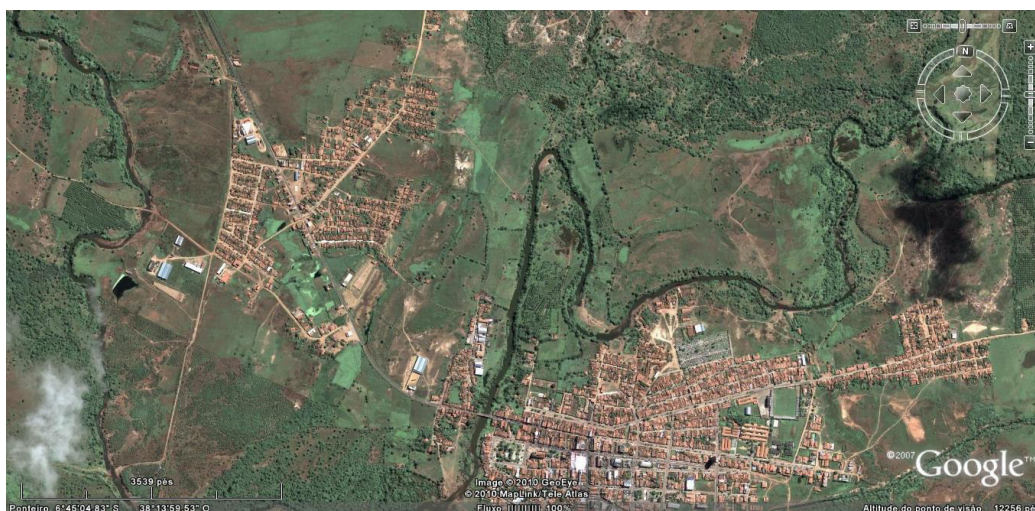
mesma corresponde ao denominado Leito Excepcional da Planície do Rio do Peixe. Isso significa que grande parte da cidade está sujeita ao fenômeno das enchentes

Desse modo, as áreas da cidade que se situam nas cotas entre 242 a 245 metros se definem, *a priori*, como áreas sujeitas às inundações. Observando, o mapa e as imagens da cidade vê-se que estão incluídas neste contexto as seguintes áreas: parte do Centro Histórico e do bairro Central, todo o bairro da Estação, setor sul do loteamento Senhor Alexandre e leste do bairro da Gruta, além de toda a área que margeia a BR 405, desde o início da Ponte Dom Moisés Coelho até a bifurcação que dá acesso a cidade de Cajazeiras.

7.3 - Os impactos urbanos sobre a drenagem e a urbanização em Sousa.

A cidade de Sousa está localizada no baixo curso do rio do Peixe, entre as cotas de 226 e 219 metros e é cortada no limite norte por uma alça de meandro do rio do Peixe. A cidade nasceu às margens do rio e seu marco fundamental, a Igreja dos Pretos, foi construída a menos que 200 metros do leito do rio. Ainda hoje a escada onde se atracava os barcos na travessia mantém à altura da ponte que liga a saída para Uiraúna, está no local bem conservada.

Figura 38 – Localização do sítio urbano da cidade de Sousa.



Fonte: Google

As áreas de inundação se situam na parte norte e oeste da cidade nos bairros do Alto do Cruzeiro, Várzea da Cruz, Angelim, Jardim Sorrilândia I, II, III e Jardim Brasília, Bairro das Areias, conjunto Nossa Senhora de Fátima e Guanabara. Ainda na zona rural os

sítios Abreu, Santo Antônio, Carnaubinha, Barrocas, Macacos, Vicente, Lagoa do Conto, Recanto, Maia, Jangada, Saguim e Quandu.

As inundações em Sousa ocupam grande parte do norte e oeste da cidade onde estão localizados os bairros de maior pobreza, mas também aí temos a presença de empreendimentos industriais como a sede da indústria de laticínios ISIS que trabalha com a produção de derivados do leite e de fabricas de sabão, postos de gasolina, e muitos outros instrumentos urbanos de prestação de serviço além dos bairros de moradias já referidos. O que se pode constatar nestes locais é o total descumprimento da normatização quanto a distância que se pode construir com relação a calha ou do leito menor do rio. A imagem da figura 39 dá uma ideia do avanço sobre a calha do rio.

Figura 39 – Empreendimento Isis, cemitério e moradias dentro do leito maior



Fonte: Google

Os impactos sobre o sítio da cidade de Sousa é bastante significativo em consequência ao desenvolvimento devido ser o mais alto que a região detém. A cidade gera uma grande quantidade de lixo que chega aos bueiros e até a ponte da entrada da cidade, além de barramentos e pocilgas e animais dentro do leito do rio. Além disso, o descontrolado extrativismo mineral revolve as camadas do solo e retirando a mata ciliar para produzir e comercializar na construção civil (Figura 40).

A topografia da cidade mostra um sítio urbano na cota de 223 m e com declive mínimo, o que não favorece o escoamento, portanto qualquer obstáculo acarretará a diminuição do mesmo, e conseqüentemente o empoçamento setores mais deprimidos ou seja em cotas baixas, como visto na figura 41.

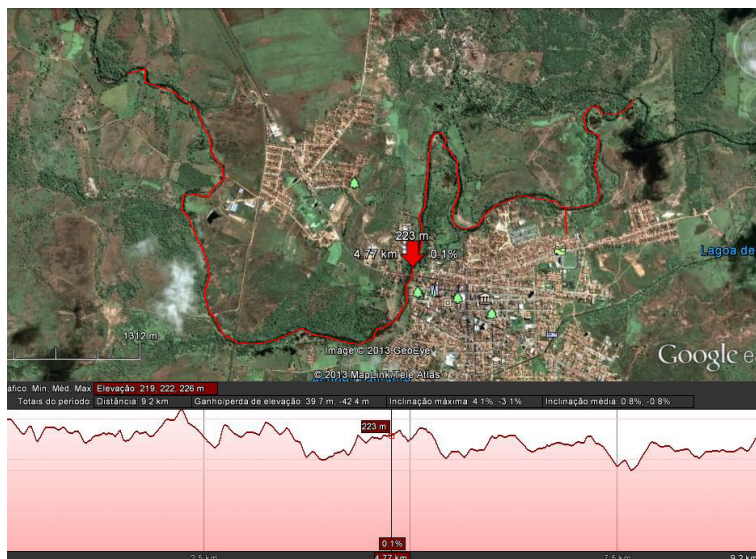
Figura 40 – Impactos sobre o ambiente no sitio urbano de Sousa.



Retirada de areia e lixo na ponte que liga Sousa a Uiraúna. Fonte: Google

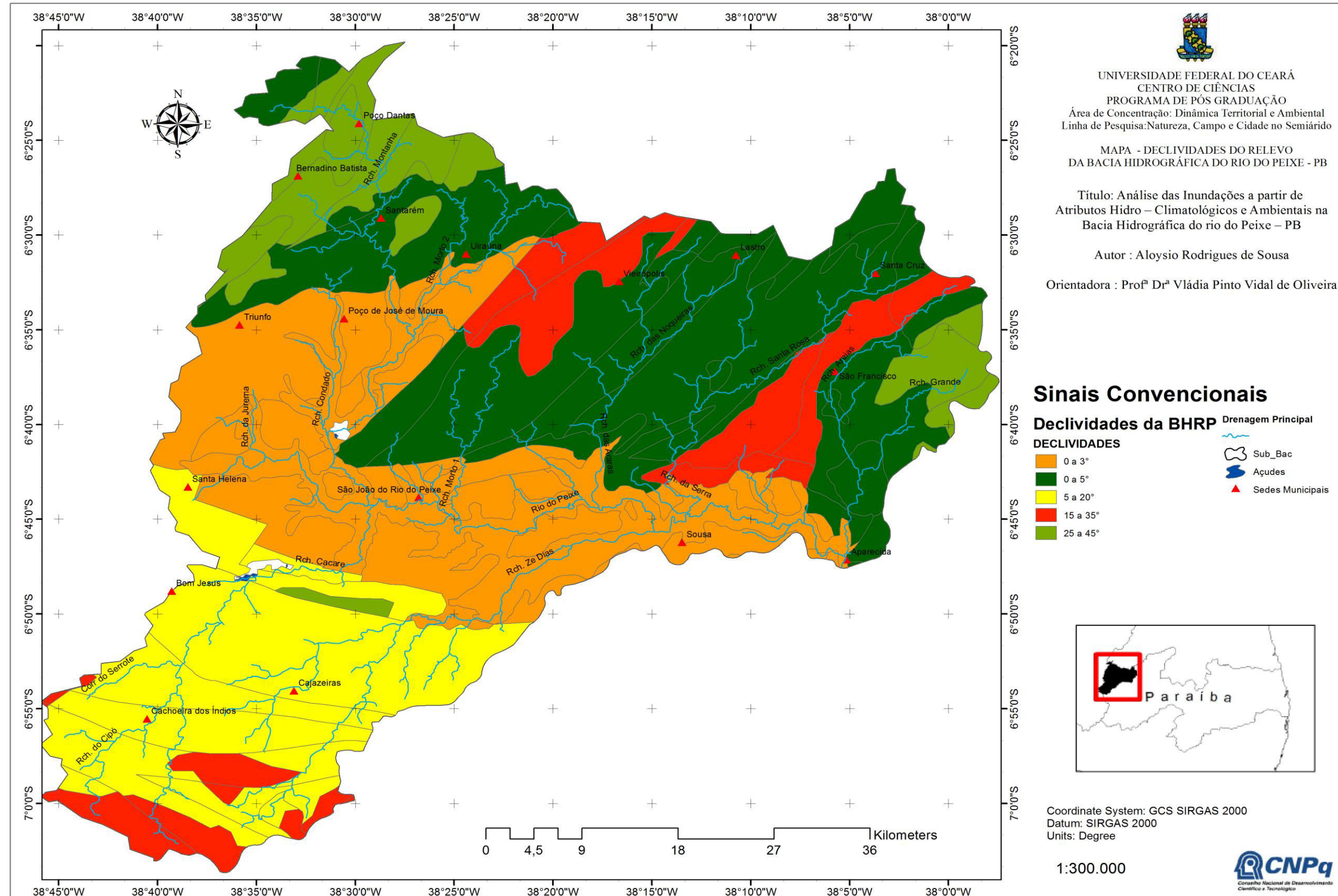
Outros fatores que contribuem para provocar a elevação do nível d'água, é o material geológico em que o leito do rio está entalhado e o tipo de solo, correspondendo aos Vertissolos. São solos constituídos por alto teor de argila em todos os seus horizontes dificultando a drenagem e favorecendo o encharcamento por vários dias. Na região esses solos são denominados pela comunidade local por “massapê”.

Figura 41 – Declividade da calha do rio do Peixe em Sousa.



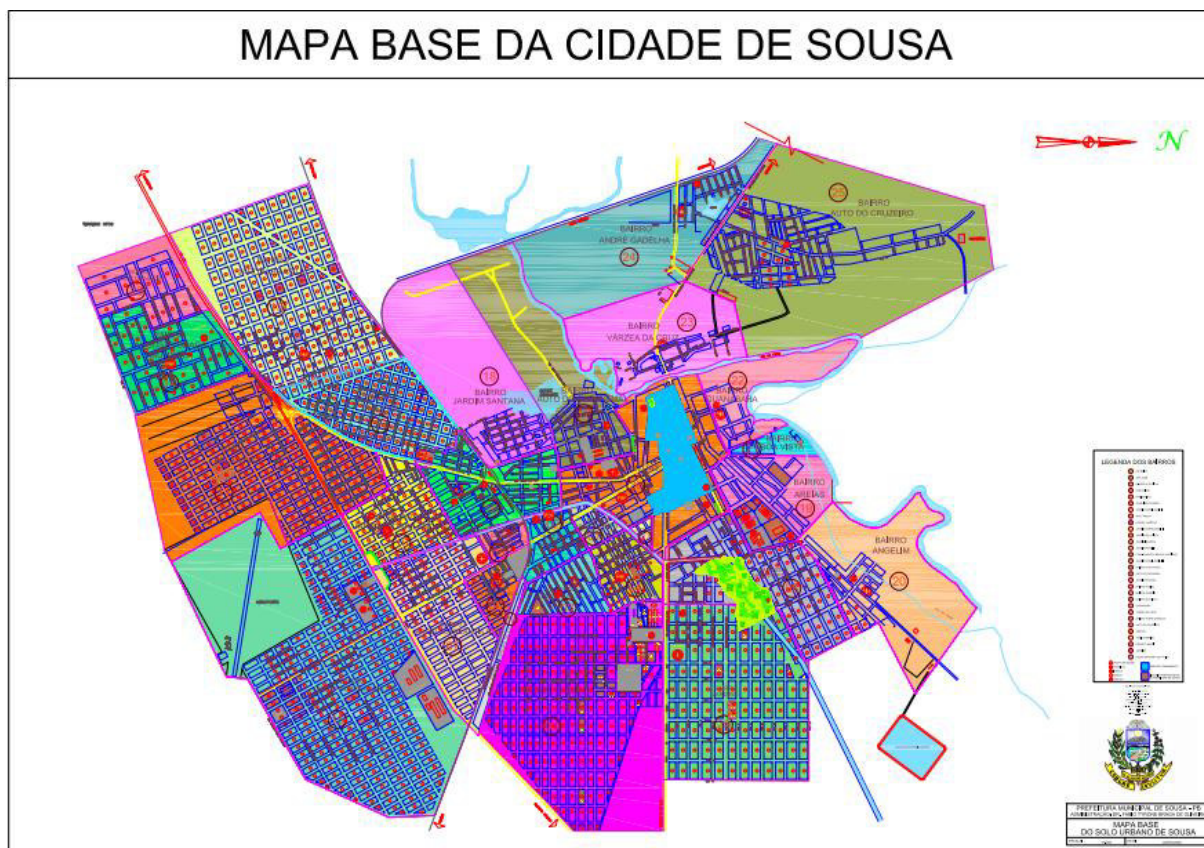
Fonte Google.

MAPA 11 - Declividades da bacia do rio do Peixe



Do exposto comprova-se que as áreas compreendidas entre as cotas 223 e 220 m, estão sujeitas a inundações no período das enchentes do rio do Peixe, em que os bairros Angelim, Bairros areias, parte do Alto do Cruzeiro, André Gadelha, Bairro Várzea da Cruz, Boa Vista, Guanabara, Jardim Santana e Auto do Capanema são os mais afetados.

Figura 42 – Mapa Base da Cidade de Sousa



Fonte: Prefeitura Municipal de Sousa (2009)

Os problemas apresentados em São João do rio Peixe e na cidade de Sousa são de natureza diversa tais como: problemas de ordem política da organização do solo urbano, de regulamentação do uso e impactos dos resíduos sólidos (lixo), desmatamentos da mata ciliar, extrativismo mineral (areia e argila) sem controle para o uso na construção civil; ocupação desordenada no leito menor, maior e excepcional do rio, impermeabilização das ruas por

asfalto e entupimento das “cabeças de pontes” pelo lixo, além dos barramentos que são mais visíveis em São João do rio Peixe, do que em Sousa.

Desse modo, aglutinando-se diversos fatores na organização da tessitura do espaço urbano, de impactos negativos sobre o ambiente e total ausência do poder público, as inundações para essa área devem permanecer até que se ponha em prática todo um conjunto de medidas restritivas e de pesquisa climática no sentido de garantir a segurança e a qualidade de vida das populações destas áreas.

CONCLUSÕES

As informações levantadas para essa pesquisa chegaram a uma definição das causas, da gênese e dos desdobramentos que ocasionam o problema das inundações na bacia do rio do Peixe, no alto sertão da Paraíba sem, no entanto, finalizar com a busca de outros olhares para o fenômeno, que podem vislumbrar outras interfaces com diversos campos da ciência.

Entretanto, para os propósitos que ensejou, a pesquisa chegou a respostas sobre a problemática da ocorrência das inundações, que vista do ponto de vista da climatometeorologia é o contraponto das secas por falta dos mesmos mecanismos geradores das precipitações intensas, que vai se aliar aos impactos da tessitura urbana negativa e, por fim, provocar as inundações.

As inundações, no semiárido Nordestino, estão atreladas a ocorrência de sistemas de precipitações que se juntam para potencializar altas e concentradas precipitações, como observado no capítulo 4. São as Linhas de Instabilidades em conjunto com a ZCIT que permitem uma configuração atmosférica capaz de formar os aguaceiros e as tempestades rápidas. Para o setor noroeste da Paraíba, a ZCIT é o principal sistema de atuação que pode trazer chuvas ou pode trazer seca se o seu deslocamento não se efetuar para as latitudes de 3 a 5 graus Sul.

Outro sistema importante para a área da bacia e do setor oeste paraibano é o VCAN – Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis. Esse sistema também atua em conjunto e pode incrementar as precipitações, como também interferir, dependendo da sua localização e do seu centro. É fato que se percebe para a área pesquisada que poucos sistemas interferem na climatologia, se resumindo apenas ao sistema principal a ZCIT e as ocorrências da LI's e das DOL's – Distúrbios Ondulatórios de Leste e VCAN.

As questões colocadas na introdução ficaram explicadas ao longo da exposição ou mesmo se diluíram na ampla discussão sobre as causas da geração das inundações na bacia do rio do Peixe.

A pesquisa encontra respostas para a maioria das perguntas levantadas e também ultrapassa os questionamentos com os subsídios relativos a geologia e a natureza e uso dos solos. Revela a pesquisa que os solos que assentam as cidades são do tipo vertissolos, com natureza de argila no horizonte A e por isso dificulta a percolação. O encharcamento destes

solos, também conhecidos como “massapê”, faz com que as águas permaneçam por vários dias sem escoamento. Essa natureza dos solos em terrenos de baixa declividade vista no perfil do leito do rio em muitos trechos, menos que 3%, oferece as condições para o não escoamento das águas e, por fim, a invasão lateral saindo do leito excepcional e invadindo as áreas da planície fluvial.

Dentro dessa trajetória as águas encontram na passagem pelo leito do rio as barragens de pedra e cal, que na cidade de São João do Rio do Peixe são os responsáveis diretos pela obstrução do canal e por isso a invasão das áreas laterais. Como as laterais formadas pela mata ciliar em muitos lugares foram retiradas, o processo de solapamento das vertentes laterais e assoreamento do rio estão em processo avançado de construção.

As respostas da bacia às precipitações foram verificadas no capítulo VI e se conseguiu demonstrar que a bacia tem índices **Kc**, **Kf** e **Ic**, respectivamente 1,77; 0,19 e 0,31 e mostram que a bacia não é propensa a enchentes.

O índice **Kc** ou Coeficiente de compacidade quanto mais próximo a unidade mais assemelha-se a um círculo e, portanto, mais sujeita a eventos de cheias. Para o índice de Gravelius (**Kf**) a bacia não é propensa a enchentes, visto que o índice é menor que 0,50 e, portanto, não sujeita a enchentes e, por fim, o Índice de conformação (**Ic**) que expressa a capacidade de gerar enchentes, quanto mais próximo de 1 maior a propensão, podendo assumir valores acima e abaixo de 1, para a BHRP foi de 0,31. Portanto, se demonstrou que a bacia não é propensa a inundações, pois seu formato não se aproxima nem do círculo, nem do retângulo, estando muito mais para o triângulo com o exutório na hipotenusa, ou seja, no lado maior.

A partir do exposto, segue a investigação do problema em busca das respostas pontuadas na introdução. Se a forma da bacia não oferece condições para se verificar o fenômeno então POR QUE ele acontece? De certa forma essas indagações foram respondidas acima, mas outros questionamentos ainda perduram, dado que as inundações são conhecidas desde épocas pretéritas do início do século XX e até mais antigos são os registros orais.

Eis que em nenhum registro de literatura se tenha registrado um número expressivo de desabrigados quanto àqueles do ano de 2008. Então, volta o foco para duas questões bem mais contemporâneas: a ocupação da planície de inundação e o uso do solo pela agricultura.

Para esses questionamentos as evidências clarificaram com o NDVI e com a análise da expansão urbana das cidades. O NDVI é uma análise adimensional em que se verifica através das imagens de satélites o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície, a partir das reflectividades das bandas 3 e 4 do TM Landsat 5 foram obtidos os índices de vegetação .

O NDVI é representativo de vários índices de vegetação espectrais, este índice é uma técnica bastante importante utilizada para melhor visualizar os alvos no que diz respeito a variação da vegetação, ele é a razão entre as bandas de alta correlação entre si e serve para realçar os alvos de interesse, a biomassa vegetal. No caso do objetivo desta pesquisa, não havia necessidade de uma medição efetiva, o que foge do escopo do trabalho, mas dá demonstração da evolução do uso do solo com retirada da vegetação.

A aplicação destas técnicas revelou que em comparação com as imagens trabalhadas por classificação não supervisionada de 1973 e 2010, a bacia sofreu impactos negativos de retirada de vegetação em Santa Helena e São João do rio do Peixe, mas houve recuperação em outras áreas ao norte e ao sul, com isso desqualificando que as inundações seriam por desmatamentos no alto curso do rio do Peixe.

Nessa análise, fica evidenciado que as manchas de vegetação observadas nas imagens não se referem à vegetação de caatinga, mas a culturas irrigadas que se desenvolveram em torno dos açudes construídos, sobretudo depois de 1973. O aporte de água para bacia mostra que essas áreas próximas aos canais do açude Lagoa do Arroz, Chupadouro e Paraíso, entre outros, se tornaram áreas verdes devido a irrigação e a proximidade das águas nas circunjabências dos açudes.

Desse modo recaí sobre a expansão urbana as possíveis razões das inundações na bacia do rio do Peixe. Parece óbvio demais fazer ligações entre o fenômeno e a expansão da malha urbana, mas acontece que não somente as populações de baixa renda são levadas a ocupar as áreas mais vulneráveis. A cidade de Sousa é o exemplo clássico que essa assertiva não é mais tão verdadeira. O fato é que na organização da trama urbana espaços antes tidos como imprestáveis, insalubres, foram sendo gradativamente incorporados pela polis.

Equipamentos urbanos e industriais foram avançando em direção as planuras do rio do Peixe e áreas que eram eminentemente de alagados e plantio de arroz, por sua baixa declividade, foram incorporadas à cidade fazendo com que as moradias dos mais carentes

fossem cada vez mais para perto do leito do rio. Assim, vários equipamentos como postos de combustível, postos médicos, mercearias e bares, além das indústrias de sabão, olarias e indústrias de aproveitamento e transformação, como fábrica de doces e iogurtes e derivados do leite, ocuparam as margens do rio do Peixe com distância mínima de 16 a 150 metros.

As residências definitivamente ocuparam o leito maior do rio dentro do perímetro urbano da cidade, sem nenhum controle por parte do poder municipal e sem uma legislação de restrição a áreas que o rio naturalmente flui, mesmo com período chuvoso que não levem a inundações. De modo que mesmo com precipitações menores que 1.000 mm e já ocorre retirada de pessoas como o veiculado no ano de 2011, onde as precipitações ficaram abaixo da climatologia.

Para finalizar as análises aqui colocadas, sugere-se que as possíveis soluções para as inundações do rio do Peixe estejam nas seguintes etapas aqui propostas:

No âmbito da engenharia as medidas podem ser estruturais e não estruturais. Nas medidas estruturais se poderá realizar:

- **Medidas de aceleração do escoamento** – Canalização de trechos dos meandros do rio na parte urbana, com a construção nas áreas ocupadas e onde não haja a possibilidade e/ou a comunidade não possa ser retirada, indenizada ou desapropriada.
- **Medidas de restauração da calha natural** – Proceder a restauração da calha natural, onde possível, com a retificação ou fechamento de alças de meandro abandonadas.
- **Medidas de recomposição da cobertura vegetal** – Planejar, incentivar e fiscalizar a recomposição das matas galerias do rio na área urbana, como também em toda a bacia, com vistas ao controle da sedimentação e assoreamento do rio.

As medidas não estruturais, diferentes das medidas estruturais que podem criar a sensação de solução das inundações e de falsa segurança, até mesmo induzir a ocupação de áreas inundáveis, as medidas não estruturais pode ser de baixo custo e ter prazo mais longos de atuação. Essas medidas não estruturais podem se desdobrarem em:

- **Disciplinar a ocupação territorial das áreas de inundação** – A locação e o disciplinamento legislativo podem interferir na ocupação indevida dessas áreas.
- **Zoneamento e regulamentação do uso do solo** – As áreas de inundação serão delimitadas em função do risco de inundações. O uso destas áreas será prevista na legislação e disciplinadas em um Plano Diretor. As ações de regulamentação e uso do solo visam prevenir contra fatores de ampliação do deflúvio, pela impermeabilização da bacia de drenagem.
- **Educação ambiental** – Ampla divulgação nas escolas do município e estaduais do Plano Diretor enfatizando as medidas de controle do escoamento, permitindo, desse modo, que a sensibilização das classes menos favorecidas em favor do objetivo proposto.
- **Programa de limpeza dos canais e pontes** – A legislação e o disciplinamento destas áreas só terão efetiva transparência quando o poder público promover uma urgente ação de limpeza dos canais e das cabeças de pontes, com a proibição e fiscalização de depósitos de lixo nestes ambientes.
- **Práticas vegetativas:** Controle da cobertura vegetal da bacia; reflorestamento com espécies adaptadas às condições edafoclimáticas.
- **No âmbito social:** Criação de um Fórum de discussão permanente, para analisar, aprovar e propor soluções para os impactos da bacia.
- **Político e Institucional:** – Seguro contra as inundações: estímulo as pesquisas como Mapeamentos de áreas de riscos, e controle das ocupações e bloqueios do fluxo por barragens.
- **Educacional:** Programas permanentes de educação e conscientização da ocupação da bacia.
- **Programa de monitoramento meteorológico** – Implementação de instrumentação de coleta pluviométrica, instalação de novas estações

agrometeorológicas. Criação de órgão ou secretaria para pesquisar, sistematizar e emitir boletins e aviso de inundações.

REFERENCIAS

- AB´SABER, A N. *O Domínio Morfoclimático das Caatingas Brasileiras*, São Paulo. IGEOG/USP, 1974.
- ALLEN, R. G.; Tasumi. M.; Morse, A; Trezza, R. A. “Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning”. *Irrigation and Drainage Systems*, volume 19, pp.251-268, 2005.
- ALVES, JOSÉ MARIA et all. *Mecanismos Atmosféricos Associados á Ocorrência de precipitações Intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro/2004*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.1 56-76, 2006.
- _____ - *Uma análise da evolução termo dinâmica no Atlântico tropical em anos de contrastes climáticos*. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 2003
- _____. *Previsão da Anomalia de Temperatura da a Superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical, com a equação da difusão de Temperatura*. *Revista Climanálise*, ano 2003, n.1.
- ALCÂNTARA, E. H. & SILVA, G. C. - *Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: Um estudo de caso*. CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html ISSN 1678-6343 :2005
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1967. *A origem e evolução da plataforma brasileira*. DNPM, Rio de Janeiro, Bol. 241, 36p
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; NEVES, B.B. de B.; FUCK, R.A. 1981. *Brasilian structural provinces: An introduction*. In: Mabesoone, J.M., Neves, B.B. de B. & Sial,A.N., eds., *The Geology of Brazil. Earth-Science Reviews*, v. 17, pp.1-29.
- AMARAL, CRISTIANO DE ANDRADE. *Correlação entre contexto Morfoestrutural e Sismicidade nas Regiões de João Câmara e São Rafael (RN)*. Dissertação de mestrado.UFRN, 2000.
- ASMUS, H.E.; PORTO, R. *Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas*. Brasília. *Projeto Remac* 1: 51-74, 1975.
- ARAVÉQUIA , J. A. *Funções de influência com dependência temporal : Aplicações na interpretação da deriva de Prognósticos de tempo e da gênese de anomalias Climáticas*, Tese de Doutorado, 2003

- BARROWS, H.K. *Floods – Their Hydrology and Control*. Mcgraw-Hill Book Company, Inc. 1948.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: VITTE, Antônio C.; GUERRA Antônio J. T. (org.) *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004
- BORSATO, V. A., **A Participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do rio Paraná no período de 1980 a 2003**. Tese (parcial), (Doutorado) Nupélia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.
- BORSATO, V. A. BORSATO F. H, **A dinâmica atmosférica e a influência da tropicalidade no inverno de 2007 em Maringá PR - Espacial**. In: 8º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Evolução Tecnológica e Climatologica. Universidade Federal de Uberlândia. Agosto 2008. Eixo 5 - Técnica em Climatologia - CD-ROM
- BRANDÃO, A.M. de P..M. **Clima Urbano e Enchentes na cidade do Rio de Janeiro**. In: *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pg. 47-1-2, 2001.
- BRITO NEVES, B.B. **América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrecionário andino**. Bahia. VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG, 11-13, 1999.
- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHUMS, W.R.; SANTOS, E.S.; CAMPOS NETO, M.C; BARTH, F.T. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. Nobel/ABRH, 1987. 525p.
- BELTRAME, ÂNGELA DA VEIGA. - **Diagnósticos do Meio Físico de Bacias Hidrográficas. Modelos e Aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFCS, 1994. 112 pg
- BRANDÃO, MARCELO HENRIQUE DE MELO - **Índice de Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe-PB**. Tese de Doutorado, 2005.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. *Reflexões sobre a Geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, p.153-192, 2004.
- CABRAL, E. e JESUS, E.F.R. **Eventos pluviiais extremos na Grande São Paulo em 1981: impactos na vida urbana**. In: *Simpósio de Geografia Física Aplicada*, 4, 1991, Porto Alegre, Anais.p175-182.
- CASTRO, DAVID LOPES DE. **Modelagem gravimétrica 3-D de corpos graníticos e bacias sedimentares com embasamento estrutural de densidade variável**. Revista Brasileira de

- Geofísica, Vol.23(3), 2005. Disponível em: <http://scielo.br/pdf/rbg/v23n3/a08v23n3.pdf>. Acesso em 10 set. 2009.
- CAVALCANTE, J.C., 1999, **Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, NE do Brasil**. Tese de Mestrado, UFRN, 289p.
- CAVALCANTE, F. de Sousa et al , 2005; **Considerações Sobre A Utilização dos Principais Solos no Estado da Paraíba**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia - ISSN 1677- 0293 Ano IV, Número 08, Dezembro de 2005
- CAVALCANTI, I.F.A. 1982. *Alguns aspectos da circulação da atmosfera próxima à América do Sul e interações com a região Antártica*. São José dos Campos, INPE. (INPE-3308-PRE/618).
- CAVALCANTI, IRACEMA F. ALBUQUERQUE et al – *Tempo e clima no Brasil*. Oficina de Textos, 2009.
- COELHO, ANDRÉ LUIZ NASCENTES - *Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte*. In Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007.
- COLANGELO, ANTONIO CARLOS – *Geografia Física, Pesquisa e Ciência Geográfica*. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 16, pp. 09 - 16, 2004
- CHRISTOFIDIS, D. *Recursos hídricos e irrigação no Brasil*. CDS/UnB, Brasília. 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. – *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 2 ed. 1980.
- _____ - *A análise morfométrica de bacias hidrográficas*. São Paulo. Edgard Blucher, 1969
- CUNHA, SANDRA BAPTISTA da, *Geomorfologia, uma atualização de Bases e conceitos*. Org. Guerra, Antonio Teixeira. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1998.
- DINGMAN, S. LAWRENCE – *Fluvial Hydraulics*. Oxford University Press, 2009.
- FRANÇOLIN, J.B.L.; SZATMARI, P. 1987. *Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira*. *Rev. Bras. Geoc.*, 17(2): 196-207.
- FRANÇOLIN, J.B.L. 1993. *Análise paleomagnética dos sedimentos cretáceos da Bacia do Rio do Peixe* (Parnaíba). In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 15, Natal, 1993, *Atas...*Natal, SBG/NE, 298-301.
- FRANÇOLIN, J.B.L.; *Analyse structurale du Bassin du Rio do Peixe (Brésil)*. France, 1992. 240p. These (Doctorale)- L' université de Rennes I – France, 1992.

- FERREIRA, A. G & MELO, N. G.S - *Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região*. Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 1, No 1, 2005
- GALVIN, KATHLEEN A.; ROBIN S. REID; ROY H. BEHNKE JR.; N. THOMPSON HOBBS - *Fragmentation in Semi-Arid and Arid Landscapes - Consequences for Human and Natural Systems*. All Rights Reserved Springer, 2008.
- GALVÃO, M. J. da T. G.et al. - *Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe*. Recife: CPRM/UFCEG/FINEP, 2005.
- GUERRA, ANTONIO JOSÉ TEIXEIRA - *A contribuição da geomorfologia no estudo dos recursos hídricos*. BAHIA ANÁLISE & DADOS. Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 385-389, 2003.
- GUPTA, AVIJIT - *Large Rivers Geomorphology and Management*, JOHN WILEY & LTDA, 2007.
- HIRSCHBOECK, KATHERINE K. - **Floods Hydroclimatology** - in *Floods Geomorfology*.(org) Victor R. Backer. Ed. Wiley – Intercience publication, 1988.
- HIRSCHBOECK, K.K., Ely, L. and Maddox, R.A., 2000, **Hydroclimatology of meteorologic floods**, in Wohl, Ellen, ed, *Inland Flood Hazard: Human, Riparian and Aquatic communities*, Cambridge University Press, p. 39-72.
- HORTON, R. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of American Bulletin, 1945.
- HASUI, Y. et al. **Os Falhamentos e a Sismicidade Natural da Região das Serras da Mantiqueira e do Mar**. ABGE, Anais do Cong.Bras. Geol. Eng., São Paulo, 1: pp. 353-357, 1978a.
- _____. **Sobre as Bacias Tafrogênicas Continentais do Sudeste Brasileiro**. SBG, Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1: pp. 382-392, 1978b.
- JARDIM DE SÁ, E.; MATOS, R. M.D; MORAIS NETO, J.M.M.; SAADI, A.; PESSOA NETO, O.C.**Epirogenia cenozóica na Província Borborema: síntese e discussão sobre os modelos de deformação associados**. VII *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, Bahia. 58-61, 1999.

KOZUCH, M. **O evento Cariris Velhos na província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas.** Revista Brasileira de Geociências 25(4):279-296, 1995.

KOUSKY, V. E., L. C. B. Molion., 1981: Uma contribuição à climatologia dinâmica da atmosfera sobre a Amazônia. São José dos Campos, INPE.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; Castro, P. de T. A. **Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil.** Rem: Rev. Esc. Minas. [online]. Apr./June 2001, vol.54, no.2 [cited 16 June 2006], p.121-126.

LANNA, ANTÔNIO EDUARDO LEÃO. (1995). **Gerenciamento de Bacia Hidrográfica:** Aspectos Conceituais e Metodológicos. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília

LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. E MILLER, J. P. - **Fluvial Process in Geomorphology, San Francisco:** W. h. Freeman and Co, 1964.

LIMA FILHO, M.F. **Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Rio do Peixe - PB.** Recife, 1991. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.

LIMA FILHO, M.F.; MABESOONE, J.N.; VIANA, M.S. **Late Mesozoic history of sedimentary basins in NE Brazilian Borborema Province before the final separation of South America and Africa.** 1: Tectonic. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, 1999, Rio Claro. Boletim...Rio Claro: UNESP, 1999, p. 605-611.

MELO, NAMIR GIVANNI DA SILVA et all. – **Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a região do Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região.** Revista Brasileira de Climatologia, 2005

MOLION, L. C.B.;BERNARDO, S.O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro.** Revista de Meteorologia, São José dos Campos, SP, v.17, n.1, p. 2-10. 2002

MONTEIRO, C. A. F. – **Teoria e Clima Urbano.** São Paulo: IGEOG/USP, 1976

MONTEIRO, C. A. F. **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil** (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempos no Brasil.) **Série Teses e Monografias**, nº1. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1969.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho.** **Série Climatologia**, nº1. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **O Clima e a Organização do Espaço no Estado de São Paulo: Problemas e perspectivas.** **Série Teses e Monografias**, nº28. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

- MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**. Rio Claro: UNESP- IGCE, 2000. CD-ROM.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicações. 3ª edição. 2005. Editora UFV.
- MOURA, M. O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: Programa de Pós- Graduação em Geografia/UFC, 2008. 318p.
- MUSY, ANDRÉ – **HYDROLOGY - A Science of Nature**. Science Publishers Enfield, New Hampshire, 2011
- NETO, JOÃO MARINHO DE MORAIS et all. **A Deformação das Coberturas Terciárias Do Planalto da Borborema (PB-RN) e seu significado tectônico**. Revista Brasileira de Geociências 31(1):95-106, março de 2001.
- NIMER, E. ; **Circulação Atmosférica no Brasil** (Contribuição ao Estudo da Climatologia no Brasil). Revista Brasileira de Geografia. 1966 pg. 232 a 250.
- NOBRE, P.; MELO, A. B. C. **Variabilidade Climática Intra-sazonal Sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000**. Revista Climanálise, 2001.
- PACHECO, A. P; FREIRE, N. C. F; BORGES, U. N. **Uma Contribuição do Sensoriamento Remoto para Detecção de Áreas Degradadas na Caatinga Brasileira**. Instituto de estudos sócio-ambientais. Goiânia –GO, 2006.
- PASCHOAL, W. **As inundações no Cambuci: Percepção e reação do habitante e usuário de uma área central da metrópole a um de seus problemas mais sérios**. Dissertação de Mestrado- Departamento de Geografia – USP. 1981, 123p.
- PASTORINO, L.A. **O problema das enchentes na Região de São Paulo**. Caderno de Ciências da Terra, n.19 São Paulo, Instituto de Geografia,USP, 1971
- PEREIRA, L.J.ASSIS - **A problemática sócioambiental na cidade de São João do rio do Peixe – PB**. Monografia,2009.
- PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **Dispositivos morfo-estruturais e evoluçãomorfotectônica da margem passiva transformante do Nordeste brasileiro**. Campinas. *III Simp.Nacional de Geomorfologia*, 2000, 3 p.
- PEULVAST, J.P.; CLAUDINO SALES, V. **Aplainamentos e Geodinâmica: revisitando conceitos clássicos em Geomorfologia**. Fortaleza. *Rev. Mercator* 1:62-92, 2004.
- RAGHUNAT, H. M. – **Hydrology. Principles. Analysis. Design**. New Age International (P) Limited, Publisheers, 2006.

RAND, H.M. - 1984 - Reconhecimento gravimétrico da bacia do Rio do Peixe, Paraíba. Anais do XI Simpósio de Geologia do Nordeste, Atas, Boletim no 9: 42-47, Natal - RN.

RAND, H.M. & MANSO, V.A.V. - 1984 – Levantamento gravimétrico e magnetométrico da bacia Araripe, XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, 4: 2011-2016, Rio de Janeiro - RJ

RAMOS, M.M.; SILVA, D.D. **Geografia das águas**. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV/DEA, 2001. 83p. (Curso de Uso Racional dos Recursos Naturais e seu Reflexos no Meio Ambiente. Módulo 4)

REIS, LUIZA FERNANDA RIBEIRO - NOTAS DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, texto.

REPELLI, C. A.; NOBRE, P. **Modelagem Estatística das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Tropical**. Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos, 1996.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo Climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista**. (Dissertação de Mestrado). São Paulo: FFLCH/USP- Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1990. 168p.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Orgs.) **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: Eduem. 2000. 259p.

SERRANO, A.F. e CABRAL, E. **Análise das áreas de inundação no Município de Atibaia/SP**. VI SBCG, Aracaju, 2004.

SHELTON, L. MARLYN – **Hydroclimatology. Perspectives and Applications**. Cambridge, 2009.

SILVA, A. B. P. **Estudos de dois casos extremos de precipitação sobre a costa leste do nordeste do Brasil**. Maceió, 2002, 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas.

SILVA, RICARDO MARCELO - **Mecanismo de Intensificação da Baroclinia Atmosférica em Função dos Gradientes de Temperatura da Superfície do Mar**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. VIII, 88 p.: il.; 29,7 cm. Tese (doutorado) – UFRJ, 2010, p.82 a 88.

SILVA DIAS, P. L. et all – **Public Policy and adaptation to climate change in South America**. São Paulo. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2009.

SILVA, D.D.: RAMOS, M.M., **Planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos**. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV/DEA, 2001. 89p. (Curso de Uso Racional dos Recursos Naturais e seus Reflexos no Meio Ambiente. Módulo 10)

SILVA JÚNIOR, JOSÉ MARIA FERREIRA da. **Um Regime Rúptil, Pós-Siluro-Devoniano no Domínio da Zona Transversal, Província Borborema-Nordeste do Brasil.** Dissertação de mestrado, 1997.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação.** Porto Alegre, Ed. UFRGS/EDUSP/ ABRH, 1993.

SOUZA, E. M. 2006. **Estratigrafia na seqüência clástica inferior andares (Coniaciano-Maastrichtiano inferior) da bacia da Paraíba e suas implicações estratigráficas.** Tese de doutorado. UFPE, 2006

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** *Transactions of the American Geophysical Union*, 1957.

SUMMERFIELD. MICHEL A. – **Global Geomorphology - An introduction to the study of landforms .** Longman Ed.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J.B.L.; ZANOTTO, O.; WOLF, S. **Evolução Tectônica da margem equatorial brasileira.** *Revista Brasileira de Geociências* 17(2):180-188, 1987.

TEIXEIRA, Denílson et al – **O Conceito de Bacia hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental** Local. Revista UNIARA, nº 20, 2007

TUCCI, C. E. M.- **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1993. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUCCI, C.E. **Inundações Urbanas.** In: TUCCI, C. PORTO, R. BARROS, M. (Org). **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH/Ed.UFRGS, 1995.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1975

WILSON, T.J.; GRUNOW, J.; HANSON, R.E. 1997. **Gondwana Assembly: The view from southern África and East Gondwana.** *Journal of Geodynamics*, 23(3/4):263-283.

WHEATER, H. S.; SOROOSHIAN, SOROOSH; SHARMA, K. D. - **Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas** , © Cambridge University Press, 2008

VAREJÃO, M. A ; **Meteorologia e Climatologia;** versão digital 2 Recife, Pernambuco, março/2006.

VANACKER, V.; MOLINA, A.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DERCON, G. & DECKERS, S. 2005. **River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems.** *Geomorphology*, 72(1-4): 340-353

VALERIANO, MÁRCIO DE MORISSON – *Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005.

VICENTE, A.K. *Eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Campinas*. Dissertação de Mestrado. Geografia. UNICAMP, 2005.

WALLACE, J.M. and GUTZLER, D.S., 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 109, p. 784-812.

ZANELLA, MARIA ELISA. *Inundações urbanas em Curitiba/PR: Impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no bairro Cajuru*. Tese de doutorado, Curitiba, 2006.