



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)
Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste
(TROPEN)
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA)
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (MDMA)

LIVÂNIA NORBERTA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VARIABILIDADE SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO
POTI EM TERESINA E SUAS IMPLICAÇÕES NA POPULAÇÃO LOCAL**

TERESINA-PI
2012

LIVÂNIA NORBERTA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VARIABILIDADE SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO
POTI EM TERESINA E SUAS IMPLICAÇÕES NA POPULAÇÃO LOCAL**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (UFPI/PRODEMA/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e utilização sustentável dos recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva

TERESINA-PI
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal do Piauí
Serviço de Processamento Técnico
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

O48e

Oliveira, Livânia Norberta de

Estudo da variabilidade sazonal da qualidade da água do rio Poti em Teresina e suas implicações na população local / Livânia Norberta de Oliveira – 2012.

113 f.: il

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva

1. Água - Índice de Qualidade. 2. Sazonalidade. I. Título.

CDD: 574. 526 32

LIVÂNIA NORBERTA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VARIABILIDADE SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO
POTI EM TERESINA E SUAS IMPLICAÇÕES NA POPULAÇÃO LOCAL**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e utilização sustentável dos recursos naturais.

Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA/UFPI/PRPPG/TROPEN)

Prof^a. Dra. Maria Elisa Zanella
Doutorado em Geografia
(UFC)

Prof. Dr. José Luís Lopes Araujo
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA/UFPI/PRPPG/TROPEN)

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha fonte de fortaleza, por todas as graças alcançadas, me proporcionando chegar até aqui.

À minha mãe e irmãs, base de vida e perseverança, *in memoriam* ao meu pai José Norberto de oliveira. De modo carinhoso ao professor Dr. Carlos P. Sait, pela motivação e ajuda na elaboração do projeto para seleção do mestrado, bem como à Larissa Sheydder de Oliveira Lopes pelo incentivo e ajuda nos estudos para seleção.

Ao professor Dr. Carlos Ernando da Silva, pela orientação, paciência e estímulo à pesquisa. À banca avaliadora, representada pelo professor Dr. José Luiz Araújo Lopes e a Professora Dra. Maria Elisa Zanella, pelas considerações relevantes ao enriquecimento desta pesquisa.

Aos professores do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFPI, pela contribuição na minha formação. À turma 2010/2011 do Mestrado em Desenvolvimento de Meio Ambiente da UFPI pelos momentos de descontração e amizade.

Ao Laboratório de Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí, pelo suporte nos ensaios mensais de monitoramento, bem como a todos os colegas que ajudaram na realização das coletas de campo e nos ensaios em laboratório: Reurysson C. de S. Morais, Walber Alves Freitas, Willian Soares Rocha, Aline Aparecida C. França, Jefferson Nascimento e Japhet Albuquerque.

Ao meu Grupo de Oração Luz da Vida, pelas orações, suporte e compreensão nas horas necessárias. Aos amigos e familiares que me incentivaram e ajudaram a alcançar meus objetivos profissionais.

Ao Denis Nunes Reis pela ajuda com os abstracts e ao Bruno Leonardo Goudinho pela revisão ortográfica.

À CPRM e à EMBRAPA Meio Norte, pela disponibilidade dos dados pluviométricos e fluviométricos da Bacia Hidrográfica do rio Poti, bem como à SEMAR-PI na pessoa da Sônia Feitosa pela disponibilidade dos dados de precipitação de Teresina.

Ao CNPQ pelo financiamento e bolsa de pesquisa.

EPÍGRAFE

Risonha entre dois rios que te abraçam,
rebrilhas sob o sol do equador;
és terra promissora, onde se lançam
sementes de um porvir pleno de amor.

Do verde exuberante que te veste,
ao sol que doura a pele à tua gente,
refulges, cristalina, em chão agreste;
lírio orvalhado, resplandente.

"Verde que te quero verde!"
Verde que te quero glória,
ver-te que quero altiva
como um grito de vitória

O nome da rainha, altivo e nobre,
realça a faceirice nordestina
na graça jovial que te recobre
Teresa, eternizada TERESINA!

Cidade Generosa - a tez morena
um povo honrado, alegre, acolhedor;
a vida no teu seio é mais amena,
na doce calidez do teu amor

Teresina, eterno raio de sol;
manhã de claro azul no céu de anil;
és fruto do labor da gente simples,
humilde entre os humildes do Brasil!

(Cineas Santos/ Erisvaldo Borges)

RESUMO

Esta pesquisa estuda a variabilidade sazonal da qualidade da água do rio Poti em Teresina e suas implicações para a população local. Teresina possui o privilégio da presença de dois importantes rios federais, o Parnaíba e o Poti, contudo seu crescimento acelerado e desordenado nos últimos anos, sem o acompanhamento adequado de infraestrutura de saneamento básico, tem deixado estes rios vulneráveis aos diversos impactos. Neste contexto o monitoramento da qualidade da água do rio Poti possibilita avaliar os impactos causados pela urbanização, correlacionando à sazonalidade da vazão do rio Poti, tendo em vista que as características climáticas de Teresina possibilitam um regime sazonal de precipitação durante o ano. As amostras de água foram coletadas entre abril de 2009 e setembro de 2011 em sete sítios selecionados no rio Poti, ao longo de 35 km de seu percurso. No monitoramento foram analisados os seguintes parâmetros: pH, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5,20), turbidez, sólidos totais dissolvidos, temperatura, nitrato, fosfato. Verificou-se que os valores médios dos coliformes termotolerantes não atenderam os requisitos de qualidade para classe 2 (BRASIL,2005) nos pontos P-2 (46%), P-5 (90%) e P-6 (70%), por existirem nas proximidades destes locais intenso lançamento de efluentes domésticos sem tratamento. Frente aos requisitos de qualidade da água e através de aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA), constatou-se durante o período de monitoramento haver uma tendência do rio Poti em diminuir sua classificação de qualidade com os meses de maior vazão, os quais ficaram associados a níveis inferiores do IQA, provavelmente devido à poluição difusa carregada nos eventos de precipitação. Nos períodos de estiagem, quando o rio Poti em Teresina apresenta em 85% da frequência do tempo um baixo volume de vazão, verificou-se uma maior influência das variáveis com o resultado do IQA, estando correlacionadas ao lançamento de esgotos e por uma menor diluição das cargas poluidoras. Constatou-se uma degradação crescente da qualidade da água conforme este adentra no núcleo urbano de Teresina. Quanto aos usos preponderantes do rio, verificou-se uma vulnerabilidade à população local, principalmente considerando o contato primário com as atividades de pesca, lazer e extração mineral.

Palavras-chave: Sazonalidade da vazão. Índice de Qualidade da Água. Crescimento urbano. Teresina

ABSTRACT

This survey checks on the seasonal variability of water quality of the Poti River in Teresina and their implications over the local population. Teresina city has the privilege of the presence of two important federal rivers, the Parnaíba and Poti Rivers, however the fast and uncontrolled growth in recent years was unaccompanied by an adequate sanitation infrastructure and it has let them vulnerable to various impacts on rivers. In this context, the tracking process of water quality of the River Poti makes it possible to evaluate the impacts caused by urbanization, relating it to the seasonality of the river flow of the Poti River, and it was given that Teresina weather characteristics allow an seasonal rainfall regime throughout the year. Some water samples were collected between April 2009 and September 2011 in seven selected places in the Poti River, over 35 km of its course. In the process of tracking, the following parameters were analyzed: pH, dissolved oxygen, fecal coliform, biochemical oxygen demand (BOD 5.20), turbidity, total dissolved solids, temperature, nitrate, phosphate. It was found that the mean values of fecal coliform did not attend to quality requirements for Class 2 (BRAZIL, 2005) P-2 in points (46%), P-5 (90%) and P-6 (70%), for these places exist nearby intense release of untreated effluents. Facing the requirements of water quality and through the implementation of the Water Quality Index (IQW), it was found during the tracking period the tendency of Poti River in lowering their quality rating in the months with highest flow rate, which were associated with the lower levels of the IQW, probably due to diffuse pollution in adduced precipitation events. In drought periods when the river Poti in Teresina presented in 85% of the time often a low volume of flow, there was a greater influence of the variables with the outcome of the IQW, being correlated to the discharge of sewage and a lower dilution of pollutant loads. There was a growing deterioration of water quality downstream of the river as it enters the urban area of Teresina. As for the major uses of the river, there was a vulnerability to local population, especially considering the primary contact with the activities of fishing, recreation and mineral extraction.

Keywords: Seasonality of flow. Water Quality Index. Urban growth. Teresina

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas superficiais	39
Figura 2- Localização das formações geológicas presentes em Teresina	51
Figura 3- Padrões de circulação atmosférica e de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul, durante anos secos (a) e chuvosos (b) no Nordeste.	53
Figura 4- Imagem do satélite Land Sat 5, representando o perímetro urbano de Teresina-PI	57
Figura 5- Sistema de Esgotamento Sanitário de Teresina em 2003	59
Figura 6- Identificação dos pontos de lançamento de esgoto nos rios Parnaíba e Poti na área metropolitana de Teresina	62
Figura 7- Localização dos pontos monitorados e estações pluviométricas	68
Figura 8- Curva chave elaborada da correlação cota/vazão (de julho de 1990 a março de 2007) da estação Fazenda Cantinho II	71
Figura 9- Correlação das médias sazonais de precipitação e vazão na Bacia do rio Poti	74
Figura 10- Curvas de permanência da vazão do rio Poti apartir das estações fluviométricas localizadas na bacia	78
Figura 11- Correlação da vazão do rio Poti com as variáveis de qualidade da água	90
Figura 12: Localização dos dois shoppings center de Teresina	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Distribuição dos recursos hídricos no Brasil	22
Gráfico 2- Variabilidade sazonal da precipitação média na bacia do Poti (1980-2011)	73
Gráfico 3- Correlação das estações fluviométricas da bacia do rio Poti	77
Gráfico 4- Total anual de precipitação em série histórica de 1980 a 2011	80
Gráfico 5- Média sazonal de precipitação em Teresina (1980 a 2011)	81
Gráfico 6- Frequência da classificação do IQA nos pontos de monitoramento	88
Gráfico 7- Correlação da vazão do rio Poti em Teresina com o IQA	89

LISTA DE MAPAS

Mapa 1- Regiões hidrográficas brasileira	17
Mapa 2- Bacia Hidrográfica do Parnaíba	45
Mapa 3- Bacia hidrográfica do rio Poti	46
Mapa 4- Localização dos reservatórios existentes e planejados para Bacia do rio Longá e Poti	48
Mapa 5- Localização do município de Teresina-Piauí.	50
Mapa 6- Sistema de Esgotamento Sanitário de Teresina	58
Mapa 7- Localização das estações fluviométricas e pluviométricas na Bacia do rio Poti	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos rios segundo normas da Resolução CONAMA nº 357/2005	32
Quadro 2- Localização das estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do rio Poti	66
Quadro 3- Localização das estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do rio Poti	66
Quadro 4- Pontos de amostragem no rio Poti	68
Quadro 5- Parâmetros de qualidade e seus pesos relativos.	69
Quadro 6- Classificação do IQA	70
Quadro 7- Limites dos parâmetros de qualidade da água para classe 2	70

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1- Rio Poti eutrofizado	82
Fotografia 2- Lançamento de esgoto na rede de drenagem a montante do P-5 na margem direita do rio Poti	84
Fotografia 3- Lançamento de esgoto na rede de drenagem a montante do P-5 na margem esquerda do rio Poti	84
Fotografia 4- Estrutura do Balneário Curva São Paulo em 2001	95
Fotografia 5- Estrutura do Balneário Curva São Paulo em 2009	95
Fotografia 6- Parque Ambiental Encontro dos Rios	97
Fotografia 7- Ponte Estaiada Mestre João Isidoro França	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores médios dos parâmetros de qualidade	83
Tabela 2 - Valores do IQA para cada ponto monitorado	86

SIGLAS

AAN	Alta Pressão do Atlântico Norte
AAS	Alta Pressão do Atlântico Sul
AGESPISA	Águas e Esgotos do Piauí S.A
ANA	Agência Nacional de Águas
Aw	clima tropical quente e úmido
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CREA	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária
ENOS	Eventos El Niño-Oscilação Sul
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índice de Qualidade da Água
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LI	Linhas de Instabilidade
NTU	Nephelometric Turbidity Units
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMT	Prefeitura Municipal de Teresina
TSM	Temperatura da superfície do mar
PNM	Pressão ao Nível do Mar
SDU	Superintendências de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente
SEMAR-PI	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Bacia Hidrográfica como unidade espacial de estudo.....	16
2.2 Influência da variabilidade da vazão na qualidade das águas superficiais.....	21
2.3 Implicações do crescimento urbano sobre os recursos hídricos.....	23
2.4 Gestão dos recursos hídricos.....	28
2.5 A importância do monitoramento da qualidade da água para a sustentabilidade dos corpos hídricos.....	33
2.6 Índice de qualidade da água (IQA).....	36
2.7 Efeitos da degradação de recursos hídricos sobre a saúde humana.....	41
3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL E DEMOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
3.1 Bacia Hidrográfica do rio Poti.....	44
3.2 A cidade de Teresina	50
4 METODOLOGIA.....	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1 A variabilidade da vazão do rio Poti em Teresina.....	73
5.2 Monitoramento da qualidade da água do rio Poti em Teresina.....	83
5.3 Implicações da poluição do rio Poti em Teresina frente aos usos preponderantes.....	93
5.3.1 Pesca.....	93
5.3.2 Lazer.....	94
5.3.3 Extração mineral.....	99
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	101
REFERÊNCIAS	
APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a humanidade vem se defrontando com uma série de problemas ambientais, financeiros e sociais. Neste quadro de preocupações com o ambiente, os recursos hídricos adquirem especial importância, tendo em vista que a demanda por água está se tornando cada vez maior, sob o impacto do crescimento da população e do maior consumo imposto pelos padrões de conforto e bem-estar da vida moderna. Com isso, a qualidade das águas vem sendo degradada de maneira alarmante, podendo logo ser irreversível, sobretudo nas áreas mais urbanizadas.

A partir da Revolução Industrial, o crescimento desordenado e localizado das demandas associado aos processos de degradação da qualidade da água, vem engendrando sérios problemas de escassez quantitativa e qualitativa, além de conflitos de uso, até mesmo nas regiões naturais com excedente hídrico (MOTA, 2008).

As consequências do processo inadequado do crescimento já comuns nas grandes cidades são: a falta de condições sanitárias mínimas, ocupação de áreas inadequada para habitação, degradação dos recursos hídricos, poluição do meio ambiente, dentre outras.

Para Mota (2011), a urbanização não resulta somente em impactos ambientais, mas também causa a chamada “pegada ecológica” em sua vizinhança, devido à exploração intensiva e extensiva dos recursos naturais, extração de recursos em larga escala e retirada excessiva de água, contribuindo para degradação dos sistemas naturais com danos irreversíveis a funções ecológicas como o ciclo hidrológico.

Segundo Damasceno (2005), em ambientes onde a ação antrópica é marcante, a qualidade da água deixa de ser afetada somente por fatores naturais, como nos centros urbanos onde a situação dos recursos hídricos é agravada pelo crescimento acelerado e desordenado, sem a implantação adequada de saneamento básico.

Como a saúde humana depende do suprimento de água potável segura, adequada, acessível e confiável, a qualidade da água torna-se um dos indicadores da qualidade ambiental, por ser palco de interação dos diversos processos desenvolvidos no âmbito de uma bacia hidrográfica.

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, os esforços ainda estão centralizados para equacionar a problemática da poluição hídrica por matéria orgânica, consequência da não universalização dos serviços de saneamento, em especial, a coleta e tratamento de esgotos domésticos.

A deficiente situação do setor de saneamento no Brasil traz consequências graves para a qualidade de vida da população, principalmente aquela mais pobre, residente na periferia das metrópoles ou nas pequenas e médias cidades do interior, que conta com um mínimo de infraestrutura básica em saneamento (PASSETO, 2000).

A capital piauiense, Teresina, está localizada na confluência de dois importantes rios federais, o Parnaíba e o Poti, seu crescimento urbano desordenado nas últimas décadas, somado a uma gestão ineficaz dos seus recursos hídricos tem deixado-os vulneráveis ao aumento da poluição e a diversos impactos que podem trazer malefícios socioeconômicos e epidêmicos para a população local.

O rio Poti é um dos maiores afluentes do rio Parnaíba, com sua hidrografia inserida quase em sua totalidade no Estado do Piauí. Segundo a classificação de Köeppen, a Bacia Hidrográfica do rio Poti possui clima do tipo tropical quente e úmido com chuvas de verão, temperatura média anual de 27,9°C, precipitação média anual de 1.250 mm e evapotranspiração média anual de 1.800 mm (SEMAR, 2004).

A maior densidade demográfica da bacia do rio Poti está na cidade de Teresina, o que torna importante a busca de dados e informações por meios da avaliação e monitoramento da qualidade da água deste rio, para se conhecer as condições e variações atuais do nível de poluição e seus efeitos ao meio ambiente e à população (SEMAR, 2004).

Comenta Tucci (2006), que existe uma tendência do desenvolvimento urbano em contaminar a rede de escoamento superficial com despejos de esgotos cloacais e pluviais, inviabilizando o manancial em trechos urbanos. Situação observada com o rio Poti em Teresina, por não existir um sistema de esgotamento sanitário que contemple toda a cidade, trazendo prejuízos para saúde do rio, sobretudo no período de estiagem.

Para Damasceno (2005), o monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos para execução de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, por servir como um sensor que permite o acompanhamento do processo de uso dos recursos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar ações de controle ambiental.

Conforme o Art. 2º, inciso XXV da Resolução CONAMA Nº 357 (BRASIL, 2005), “o monitoramento visa verificar os padrões de qualidade da água de forma contínua ou periódica, para acompanhar a evolução da qualidade hídrica dos corpos d’água e, assim, controlar seu nível de poluição, objetivando o alcance da classe exigente”.

Segundo Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000), as variáveis que discriminam a qualidade da água podem sofrer influência do meio externo através da ocorrência de

precipitação, por ser a chuva o principal agente regulador dos cursos de água. Com isso espera-se que ela seja também uma importante variável a ser considerada em estudos envolvendo a qualidade da água de rios.

Neste contexto, esta pesquisa objetiva avaliar a qualidade da água do rio Poti, considerando a variabilidade sazonal das vazões na sua área de drenagem no perímetro urbano de Teresina, correlacionando suas implicações sobre a população local.

Apresentando como objetivos específicos:

- a) Avaliar o perfil de precipitação da área de estudo e correlacionar com as descargas líquidas;
- b) Determinar a qualidade da água através do monitoramento das variáveis de qualidade;
- c) Identificar e caracterizar as principais fontes de poluição no rio Poti dentro do perímetro urbano de Teresina;
- d) Identificar as implicações da poluição do rio Poti em Teresina para população local de acordo com os usos preponderantes.

Como o crescimento acelerado e desordenado de Teresina sem a implantação adequada de saneamento básico pode afetar a qualidade dos recursos hídricos, torna-se importante a realização do monitoramento da qualidade das águas dos rios no perímetro urbano a fim de tornar conhecidas as condições de qualidade dos recursos hídricos para subsidiar ações de controle da poluição em função dos seus usos e de sua capacidade de autodepuração.

A presente pesquisa encontra-se assim estruturada: a seção 2 destinada à revisão de literatura, onde se apresenta a importância da Bacia Hidrográfica como unidade de estudo, com base na legislação brasileira e em estudos já realizados, destacando a importância da análise sistêmica, sustentável e complexa das atividades exercidas na área da bacia, além de expor algumas dificuldades existentes na sua gestão. Prossegue relatando a influência da variabilidade da vazão na qualidade das águas superficiais, demonstrando a distribuição dos recursos hídricos no Brasil e a consequência dos fatores climáticos como a chuva e a vazão na concentração dos poluentes nos mananciais, abordando também considerações a respeito das implicações do crescimento urbano sobre os recursos hídricos, destacando que a gestão dos recursos hídricos deve estar apoiada em legislação federal, estadual e municipal, dando-se ênfase a importância do planejamento e da gestão integrada dos recursos hídricos para um desenvolvimento sustentável. Por fim, essa seção apresenta a importância do monitoramento da qualidade da água para as decisões dos gestores das bacias hidrográficas, explanando que o Índice de Qualidade da Água (IQA) desempenha papel importante na tradução do

monitoramento, por ser ferramenta de comunicação simples para transferência de dados de qualidade da água, e os efeitos da degradação dos recursos hídricos para a saúde humana.

A seção 3 é destinada à caracterização geoambiental e demográfica da área de estudo, demonstrando os aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrográficos, vegetais e sociais da Bacia hidrográfica do rio Poti e de Teresina, destacando a abrangência da bacia no Estado do Piauí, e a forma como o crescimento urbano de Teresina sem planejamento adequado vem deixando seus rios vulneráveis a poluição.

A seção 4 é dedicada à metodologia utilizada na execução desta pesquisa. Em seguida na seção 5 são apresentados os resultados da pesquisa para a variabilidade da vazão do rio Poti, o monitoramento da qualidade da água deste rio em Teresina e, ainda, as implicações da poluição do rio Poti em Teresina frente aos usos preponderantes para lazer, pesca e extração mineral.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os rios são considerados sistemas complexos, hierárquicos, que possuem três componentes principais interligados: o componente geológico e geomorfológico que constitui o modelo de base física, os componentes climáticos e hidrológicos, que são controladores abióticos fundamentais do sistema, através de regimes de vazão, qualidade da água e temperatura da água (MAITRE; COLVIN, 2008).

Mesmo o Brasil possuindo a vantagem de dispor de abundantes recursos hídricos, possui também a tendência desvantajosa em desperdiçá-los. A legislação de proteção de mananciais aprovada na maioria dos Estados brasileiros protege a Bacia Hidrográfica utilizada para abastecimento das cidades, exigindo-se que nessas áreas seja proibido o uso do solo urbano de modo que não possa comprometer a quantidade e a qualidade da água para abastecimento. No entanto, tal legislação não vem sendo cumprida, nem fiscalizada pelos órgãos competentes, deixando-os vulneráveis à ação antrópica (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Em uma Bacia Hidrográfica, considerando os condicionantes naturais, a disponibilidade hídrica é avaliada com base na série hidrológica de vazões, que dependem das características da precipitação, evapotranspiração e da superfície do solo (ANA; CEBDS, 2009).

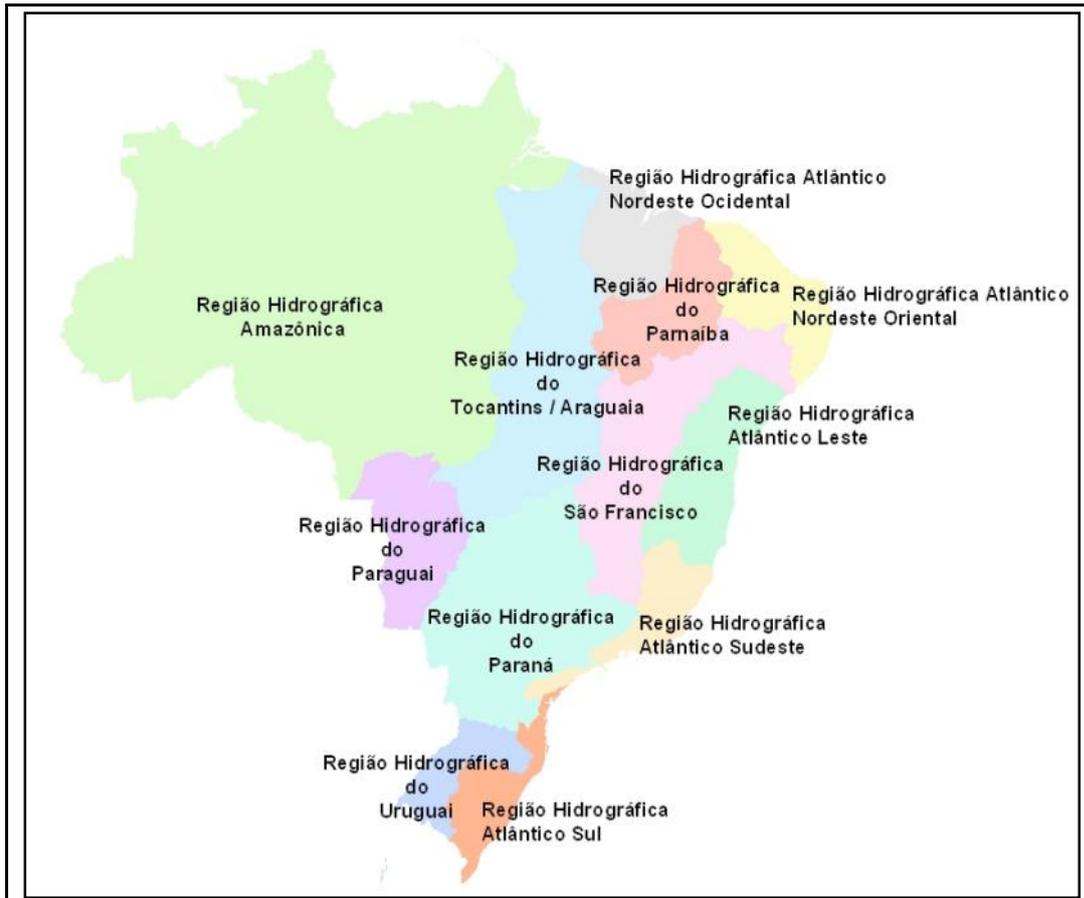
2.1 Bacia Hidrográfica como unidade espacial de estudo

A Lei n.º 9.433 (BRASIL, 1997) define a Bacia Hidrográfica como unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, estabelecendo como diretriz geral de ação a gestão integrada e como instrumentos para viabilizar sua implantação: os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o sistema de informação sobre recursos hídricos, além da compensação aos municípios.

A Bacia Hidrográfica é compreendida como uma área geográfica que drena suas águas para um determinado recurso hídrico principal, que recebe água de seus afluentes, os quais podem integrar sub-bacias e possuir limites definidos pelos recursos hídricos, solo, vegetação, meio antrópico e outros componentes ambientais (MOTA, 2008).

A Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2003), define a divisão hidrográfica brasileira em doze Regiões Hidrográficas (Mapa 1), justificadas pelas diferenças existentes no país, tanto no que se refere aos ecossistemas como também diferenças de caráter econômico, social e cultural.

Mapa 1- Regiões hidrográficas brasileira



Fonte: Brasil (2003)

Conforme Pissarra e Politano (2003), os elementos que compõem uma Bacia Hidrográfica e suas características são: a planície de inundação, localizada em posição baixa e se apresenta como extensões contíguas aos canais de drenagem; o interflúvio, identificado como “terras altas” situadas entre duas planícies de inundação e composto pelas encostas e pelo divisor, constituindo-se na porção do terreno de maior expressão para o uso agrícola; e as encostas ou vertentes, locais onde ocorrem a máxima manifestação dos processos hidrológicos.

Para Silva, Rodrigues e Meireles (2011), a análise de uma Bacia Hidrográfica deve ser feita a partir de uma perspectiva sistêmica sustentável e complexa, pois quando se trata dos

recursos hídricos, a tarefa consiste em compreender e considerar as relações do arranjo espaço-temporal do papel da água como um recurso indispensável no funcionamento da biosfera. Isso se deve ao fato dessas relações dependerem das interações espaciais entre a distribuição da água, o clima, a geologia e o relevo, constituindo de maneira articulada uma totalidade ambiental composta pelo espaço e a paisagem natural.

Existem características e situações que privilegiam a abordagem da Bacia Hidrográfica para estudos interdisciplinares, o gerenciamento dos usos múltiplos e conservação, que podem ser definidas com as seguintes abordagens, conforme Tundisi (2003, p. 108):

A bacia hidrográfica é uma unidade física com fronteiras delimitadas, podendo estender-se por várias escalas espaciais [...]; é um ecossistema hidrologicamente integrado, com componentes e subsistemas interativos; oferece oportunidade para o desenvolvimento de parcerias e a resolução de conflitos [...]; permite que a população local participe do processo de decisão [...]; garante visão sistêmica adequada para o treinamento e gerenciamento de recursos hídricos e para o controle da eutrofização [...]; é uma forma racional de organização do banco de dados; garante alternativas para o uso dos mananciais e de seus recursos; é uma abordagem adequada para proporcionar a elaboração de um banco de dados sobre componentes biogeofísicos, econômicos e sociais; sendo uma unidade física, com limites bem definidos, o manancial garante uma base de integração institucional [...]; a abordagem de manancial promove a integração de cientistas, gerentes e tomadores de decisão com o público em geral, permitindo que eles trabalhem juntos em uma unidade física com limites definidos; promove a integração institucional necessária para o gerenciamento do desenvolvimento sustentável.

A integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental deve reger a gestão em uma Bacia Hidrográfica. Relata Yassuda (1993 apud PORTO e PORTO, 2008, p. 43), que “a bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”.

De acordo com Tundisi (2003), a Bacia Hidrográfica, como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, representa um avanço conceitual muito importante e integrado de ação, além de funcionar como importante instrumento para gerenciamento de recursos e decisões políticas relevantes ao meio ambiente e a ética ambiental. Portanto, para planejar e utilizar os recursos hídricos em uma Bacia Hidrográfica é necessário o uso de práticas eficazes para implantação e viabilização das políticas públicas, bem como determinar os objetivos de utilização dos recursos naturais, sobretudo da água, devendo ser zoneada em escalas de prioridade, o uso e ocupação da terra, agricultura, pesca, conservação, recreação, usos domésticos e industriais da água.

Para Mota (2008), atividades a serem desenvolvidas na área da Bacia Hidrográfica devem considerar as características dos recursos hídricos, tais como: vazões ou volumes de

acumulação, calhas naturais de escoamento, níveis de cheias, qualidade das águas, capacidade de receber carga poluidora, bacias contribuintes, fatores hidrológicos, dentre outros para um melhor gerenciamento da área da bacia.

A adoção da Bacia Hidrográfica como unidade territorial de planejamento e de gestão das águas já é uma tendência internacional consagrada, como explica Mota (2008). Contudo esse autor chama atenção para as formas de usos do solo na Bacia Hidrográfica, por refletirem na qualidade e na quantidade dos recursos hídricos que a integram.

Existem, entretanto dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, tendo em vista que os recursos hídricos exigem uma gestão compartilhada com a administração pública, os órgãos de saneamento, as instituições ligadas à atividade agrícola, a gestão ambiental, entre outros, com cada um desses setores correspondendo uma divisão administrativa certamente distinta da Bacia Hidrográfica (PORTO; PORTO, 2008).

Mota (2008) percebe outra dificuldade existente na gestão dos recursos hídricos: considerando a bacia como unidade de gestão, é fato de sua área muitas vezes abranger territórios de vários municípios, estados e até países, criando obstáculos institucionais e legais para aplicação das medidas de controle do uso da água e do solo. Contudo essas dificuldades podem ser superadas a partir da definição de áreas menores para gestão, como as sub-bacias, porém, sem deixar a Bacia Hidrográfica principal como um todo.

Segundo Cazula e Mirandola (2010), o grande desafio em gerenciar os recursos hídricos em nível municipal é a conservação dos mananciais e a preservação das fontes de abastecimentos superficiais e/ou subterrâneas, pois, de acordo com esse autor, a conservação deve ser efetivada através dos usos da terra, buscando valorizar o reflorestamento e a proteção da vegetação, principalmente das matas ciliares, gerando inúmeras oportunidades de desenvolvimento econômico e social com o replantio das áreas degradadas e proteção das áreas preservadas.

O plano de manejo de uma rede hidrográfica é um dos instrumentos mais importantes para o gerenciamento de bacias hidrográficas. É a partir dele que pode se projetar a curto, médio e longo prazo os anseios da comunidade inserida na Bacia Hidrográfica, ou seja, cria-se um cenário, se visualiza, ao longo do tempo, formas de preservação e manutenção dos recursos hídricos em quantidade e qualidade atendendo a toda a população, procurando diminuir futuros conflitos que possam ocorrer. (CAZULA; MIRANDOLA, 2010, p.115).

Assim sendo, não se pode tratar de proteção das águas de um determinado recurso hídrico sem considerar que o mesmo integra um ambiente mais amplo, cujos componentes

interagem entre si, e que o disciplinamento do uso e ocupação do solo de uma Bacia Hidrográfica é o meio mais eficaz para o controle dos recursos hídricos (MOTA, 2008)

O planejamento dos recursos hídricos, para Cazula e Mirandola (2010), deve envolver os aspectos ambientais, econômicos e sociais, bem como ter a participação de diversos atores e de diversas entidades, públicas e privadas, a partir de uma regionalização das bacias hidrográficas, onde todos devem estar presentes nas etapas de gerenciamento.

Conforme NETO (2005, p.32):

Devido às características do relevo, há uma tendência natural de que a ocupação humana de uma Bacia Hidrográfica ocorra no sentido de jusante para montante. Como quase não há controle público sobre a urbanização indisciplinada das cabeceiras da bacia, além de não haver interesse político na ampliação da capacidade de macrodrenagem, há um aumento significativo na frequência das enchentes, o que acaba por provocar prejuízos periódicos e desvalorização de propriedades de maneira sistemática, principalmente para as populações assentadas a jusante, em consequência da ocupação a montante.

Mota (2008) afirma que a definição dos usos e da ocupação do solo de uma Bacia Hidrográfica deve considerar os condicionantes naturais que possuem influência sobre os recursos hídricos, tais como: as características climáticas, a cobertura vegetal, a topografia, os tipos de solo, as características geológicas, os sistemas de drenagem natural das águas e os próprios recursos hídricos. Todos estes aspectos analisados em conjunto, permitirão definir o tipo e a intensidade de uso da área de uma Bacia Hidrográfica.

Entre as características climáticas a serem consideradas, incluem-se: temperatura, precipitação, evaporação, evapotranspiração, radiação solar. Mudanças no ambiente podem ter influência sobre estas características, tais como: maior precipitação no meio urbano do que no rural; maior evaporação e mudanças no micro clima [...]; a impermeabilização do solo provoca maior escoamento superficial da água [...]; a radiação solar, sendo muito intensa em algumas regiões, contribui para uma significativa evaporação das águas superficiais [...]; o desmatamento resulta numa menor evapotranspiração, refletindo no micro clima. (MOTA, 2008, p. 191).

Para Tundisi, Tundisi e Rocha (2006, p. 195) “as interações entre as condições climatológicas, os sistemas aquáticos e a Bacia Hidrográfica, têm efeito extremamente importante sobre o funcionamento dos processos biogeoquímicos e biofísicos”.

Segundo Naguetinni e Pinto (2007), as séries hidrológicas em uma Bacia Hidrográfica podem apresentar uma tendência ou uma periodicidade ao longo do tempo, como resultado de variações naturais do clima ou alterações induzidas pela ação do homem. Dessa forma, as condições climáticas e hidrológicas de uma determinada região são os principais parâmetros na estimativa das disponibilidades hídricas desse território. A compatibilização entre a

disponibilidade e a demanda hídrica somente poderá ser feita quando devidamente ponderados os parâmetros climáticos, especialmente precipitação, evaporação e evapotranspiração.

A quantificação das diversas fases do ciclo hidrológico, das suas respectivas variabilidades e de suas inter-relações, requer a coleta sistemática de dados básicos que se desenvolvem ao longo do tempo ou do espaço. As respostas aos diversos problemas de hidrologia aplicada serão tão mais corretas, quanto mais longos e precisos forem os registros de dados hidrológicos. Esses podem compreender dados climatológicos, pluviométricos, fluviométricos, evaporimétricos, sedimentométricos e de indicadores de qualidade da água, obtidos em instalações próprias, localizadas em pontos específicos de uma região, em intervalos de tempo pré-estabelecidos e com sistemática de coleta definida por padrões conhecidos. (NAGUETINNI; PINTO, 2007, p.51).

As principais entidades produtoras de dados hidrológicos e hidrometeorológicos no Brasil são: a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Grande parte dos dados hidrológicos encontram-se disponíveis por meio do sistema de informações hidrológicas da ANA – Hidroweb, mediante acesso à URL <<http://hidroweb.ana.gov.br>>.

2.2 Influência da variabilidade da vazão na qualidade das águas superficiais

O Brasil é um país rico em termos de disponibilidade hídrica. No entanto, apresenta grande variação espacial e temporal de vazões, em razão de seu regime de chuva apresentar acentuada sazonalidade, ocasionada por uma estação seca e outra chuvosa em épocas diferentes de acordo com a localização geográfica. A região Nordeste, em especial a semi-árida, sofre com longas estiagens, o que afeta as concentrações das variáveis físico-químicas presentes nos rios (ANA; CEBDS, 2009).

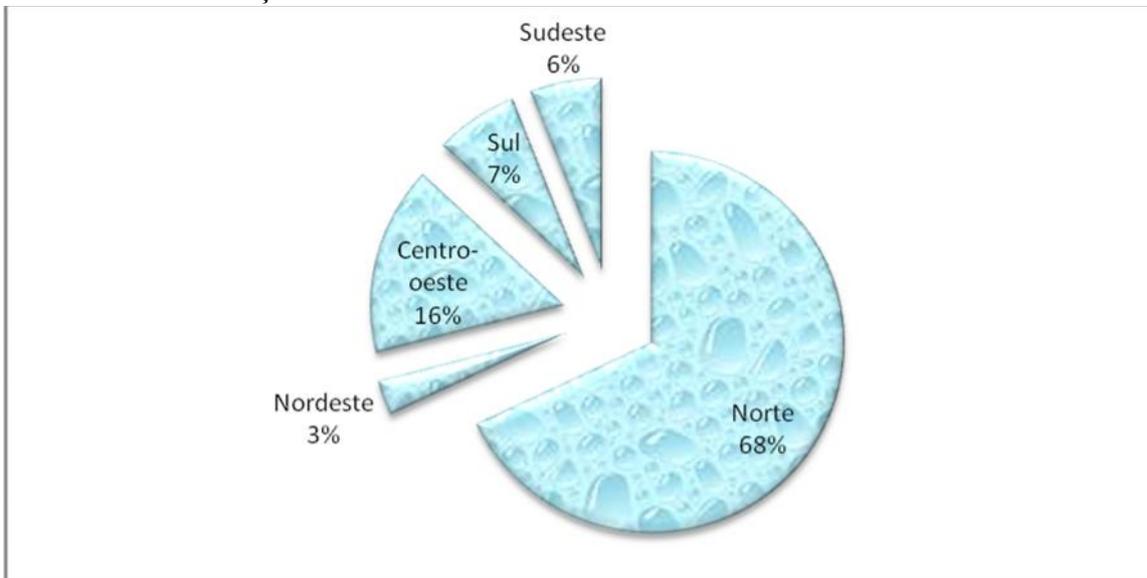
Como Salati et al (2006, p.40) observam:

a região Nordeste apresenta alta variedade climática, observando-se desde o clima semi-árido até o clima chuvoso, em que as precipitações caem em curtos períodos e 90% se perdem por evapotranspiração, os 10% restantes formam os rios que correm em curtos períodos e uma pequena fração se infiltra reabastecendo os reservatórios subterrâneos.

Ao verificar a distribuição dos recursos hídricos no Brasil (Gráfico 1), observa-se existir uma imensa desigualdade entre as regiões, de tal modo que somente na região Norte estão 68% de todo os recursos hídricos do país, com o remanescente sendo distribuído entre

as demais regiões, possuindo a região Nordeste apenas 3% de todo o recurso hídrico disponível no país.

Gráfico 1- Distribuição dos recursos hídricos no Brasil



Fonte: ANA; CEBDS, 2009

As bacias localizadas em áreas com disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos, têm tendência a passarem por situações de estresse hídrico, necessitando dessa forma de intensa atividade de planejamento e gestão dos recursos hídricos (ANA; CEBDS, 2009).

Segundo Rebouças (2006), o estresse de água nos rios do mundo deverá atingir trinta países até 2025. Para este autor, em poucos países vem sendo feita políticas para melhorar a eficiência dos usos, tanto doméstico como agrícola dos recursos hídrico, o que virá a ser um dos maiores desafios do século XXI, onde muitos países ficarão dependentes das descargas hídricas geradas em setores hidrográficos fora do seu território político, agravando os problemas políticos de tal forma que torna iminente a perspectiva de guerra.

Em estudo sobre a qualidade da água do rio Pisuerga, localizado na região de Castilla y León (Centro-Norte da Espanha), interpretaram Vega et al. (1998), que fatores como a precipitação, o escoamento superficial e o interfluxo, influenciaram no fluxo do rio, concluindo que as variações sazonais desses fatores possuíam forte efeito sobre as vazões e consequentemente, sobre a concentração de poluentes nas águas do rio.

Considerando esse estudo, interpreta-se que a concentração dos poluentes orgânicos de um rio está estreitamente correlacionada ao regime de vazão, com sua capacidade de autopurificação dependente de vários fatores como: o volume e velocidade da vazão,

concentração de poluentes, taxa de composição dos poluentes, dentre outros (GUOLIANG WEI et al, 2009).

Atentando para Pionke (1999, p.62), “a sazonalidade da vazão é importante para correlacionar uma boa amostragem, fazer simulação e elaborar estratégias de recuperação para controle de exportação de nutrientes proveniente das bacias hidrográficas”.

Para Shil'Krot e Yasinskii (2002), também Maane-Messai et al (2010), a maioria das variações temporais da qualidade da água podem ser explicadas através das variações climáticas, principalmente através das variações de precipitação, haja vista que a sazonalidade das chuvas interfere na difusão do oxigênio na água e na diluição dos poluentes dissolvidos no rio.

Em pesquisa, Vega et al (1998) revelaram que a água inorgânica (mineral) do rio Pisuerga aumentou com a diminuição da vazão, e que os níveis investigados de minerais na água do rio são sazonais e dependentes do clima, ressaltando ainda, que a temperatura do rio não variou com o lançamento de efluentes, mas com a sazonalidade das estações do ano e do clima.

Sabe-se que os rios, por sua própria natureza, são capazes de absorver, até determinado grau, as cargas poluidoras geradas pelo ser humano. Possuem uma capacidade de autodepuração que se encontra especialmente relacionada às suas características de vazão e à capacidade de compensação do déficit de oxigênio dissolvido, através da agitação de sua massa de água (reaeração) e da produção fotossintética (reoxigenação). (MONTEIRO, 2004, p. 92).

Porto (1995) assegura que o impacto causado no corpo hídrico pelo lançamento da drenagem urbana depende de fatores como o seu estado antes do lançamento, de sua capacidade assimilativa (depurativa), da quantidade e distribuição das chuvas, do uso do solo na bacia, do tipo e quantidade de poluentes arrastados.

Todavia, apesar da grande influência da drenagem pluvial na poluição dos rios, o lançamento de esgotos domésticos e industriais ainda configura-se como a principal causa da degradação da qualidade das águas dos rios que possuem parte de seu leito em áreas urbanas (SPERLING, 1996; TUCCI, 2006).

2.3 Implicações do crescimento urbano sobre os recursos hídricos

No atual mundo globalizado, o crescimento das atividades econômicas demanda maior abastecimento de água e saneamento, o que acaba por exercer uma maior pressão sobre os

recursos hídricos e os ecossistemas naturais. Diante disso, a urbanização exige investimentos significativos em infraestrutura hídrica para o abastecimento e o esgotamento das águas residuais, como forma de evitar que as águas poluídas e não tratadas representem riscos à saúde pública (TUCCI, 2006).

Na América do Sul, segundo Martinez e Poletto (2010), a maioria das cidades apresentam tendências de crescimento acelerado e desorganizado nas áreas urbanas, ocasionando impactos negativos sobre os corpos hídricos, principalmente devido ao processo de impermeabilização do solo.

No Brasil, o estabelecimento das povoações que vieram a se transformar em grandes cidades foi constituído em locais onde a oferta de água era abundante em quantidade e qualidade. Hoje, a disponibilidade desse recurso vai se tornando limitante tanto em quantidade, mas especialmente pela sua qualidade, principalmente nas capitais brasileiras, onde a poluição hídrica provoca a diminuição da oferta de água com qualidade para fins de uso urbano e industrial (REBOUÇAS, 2006).

Para Moraes (2012), as atividades humanas, sejam elas domésticas, comerciais ou industriais, afetam direta ou indiretamente a qualidade dos corpos hídricos, devido cada tipo de atividade gerar poluentes específicos que, em determinadas concentrações no corpo receptor, podem comprometer seu uso frente às demandas previstas.

De acordo com Tucci (2006), com o crescimento populacional, fatores como a poluição doméstica e industrial se agravaram, criando condições ambientais inadequadas que propiciam o aumento de temperatura, a poluição do ar e sonora, a contaminação da água subterrânea, o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, entre outros.

El proceso de urbanización observado en los países en desarrollo presenta gran concentración poblacional en pequeñas áreas, con deficiencias en los sistemas de transporte, de abastecimiento y saneamiento, problemas de contaminación del aire y el agua e inundaciones. Estas condiciones ambientales inadecuadas reducen las condiciones de salud y, por ende, afectan la calidad de vida de la población. Este aumento de los impactos ambientales negativos limitan su adecuado desarrollo. (TUCCI e BERTONI, 2003, p.5).

A extensão da influência das atividades humanas nas águas superficiais dos países em desenvolvimento tem aumentado de forma dramática, ocasionando problemas de poluição e conseqüentemente impactos nas áreas sociais, econômicas e da saúde. Pois tanto as atividades antrópicas, como os processos naturais (precipitação, intemperismo, erosão do solo) têm levado a um sério declínio na qualidade das águas superficiais, prejudicando sua utilização

para o consumo humano e trazendo implicações à saúde humana e ao ambiente (KANNEL et al, 2007).

O processo de urbanização no Brasil se agravou principalmente a partir do final da década de 1960, mostrando que o desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental resulta em grandes transtornos e custos para a sociedade e o ambiente (TUCCI, 2006).

Segundo o IBGE (Censo 2010), existem no Brasil aproximadamente 185.712.713 habitantes, com quase 90% dessa população vivendo em ambientes urbanos, o que conseqüentemente provoca impactos aos recursos hídricos, por não existirem na mesma proporção do aumento da população, investimentos em saneamento básico das áreas densamente povoadas.

A extensão dos tecidos urbanos à margem da legislação de uso do solo e associada à especulação imobiliária vem sendo reproduzida por diferentes classes sociais, resultando na ocupação de áreas ribeirinhas sem infraestrutura sanitária adequada e causando degradação da qualidade das águas naturais (TUCCI, 2008).

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações no referido ciclo: redução da infiltração no solo; o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo; com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo (TUCCI, 2006, p.475).

Dessa forma, a principal causa de degradação das águas no espaço urbano tem sido o lançamento de efluentes domésticos sem o tratamento, os quais são ricos em matéria orgânica e nutrientes, comprometendo a saúde e sustentabilidade dos corpos hídricos.

Conforme Pereira (2004), as fontes de poluição podem ser classificadas de duas formas: pontual e difusa. A poluição pontual refere-se àquelas onde os poluentes são lançados em pontos específicos dos corpos d'água, com as emissões ocorrendo de forma controlada e podendo-se identificar um padrão médio de lançamento. Já na poluição difusa, os poluentes atingem os corpos d'água de forma aleatória, não havendo possibilidade de estabelecer qualquer padrão de lançamento, seja em termos de quantidade, frequência ou composição.

Bin Liu e Robert Speed (2009) analisam que suprir as necessidades urbanas de água será um tanto mais difícil devido ao processo de urbanização continuada e aos padrões de vida estabelecidos atualmente pela população, o que torna necessário implementar normas e incentivar tecnologias para melhorar a captação de forma econômica do uso da água. Isso exigirá campanhas de conscientização pública, melhoria na transparência de fazer política da água, com a comunidade envolvida no processo para se tornar parte da solução.

Para evitar um colapso do ambiente urbano em razão do lançamento de efluentes sem tratamento nos rios, por conta do intenso crescimento urbano no início da década de 1970, os Estados Unidos elaborou a “Clean Water Act” (Lei da água limpa), a qual definiu que todos os efluentes deveriam ser tratados com a melhor tecnologia disponível para recuperação e conservação dos rios. Além de serem realizado investimentos maciços em tratamento de esgoto doméstico e industrial, recuperando em parte a qualidade da água dos sistemas hídricos (rios, lagos, reservatórios e costeiro), permitindo melhorar as condições ambientais, evitar a proliferação de doenças e a deterioração de fontes de abastecimento (TUCCI, 2008).

Tucci (2006, p. 400) chega a afirmar que, à medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos:

aumento das vazões máximas em até sete vezes devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais além da impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido a falta de proteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos; a deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Como observa Tundisi; Tundisi e Rocha (2006), o resultado de inúmeras descargas de água contaminada, poluída, com alta concentração de nitrogênio e fósforo, acelera o aumento de matéria orgânica nos sistemas, produz concentrações indesejáveis de fitoplâncton e macrófitas aquáticas promovendo aumento de doenças de veiculação hídrica.

O aumento antropogênico das concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, nos ecossistemas aquáticos é denominado de "eutrofização artificial" (SMITH, TILMAN e MEKOLA, 1999). Tal processo pode causar expressivos prejuízos à sociedade humana, especialmente no que tange a problemas de saúde pública, produtividade pesqueira, balneabilidade e de inúmeras outras possibilidades de uso pelos agentes sociais (ESTEVEZ, 1998 apud MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

A água é também um fator limitante para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a vida animal e vegetal não se desenvolvem na sua ausência. Para o homem em

particular, a sobrevivência é impossível, uma vez que necessita de um consumo contínuo e constante para a manutenção dos seus processos vitais, com uma demanda mínima de dois litros de água por pessoa/dia. Por outro lado nas estruturas urbanas, a demanda de água é bem maior, havendo uma necessidade de oferta da ordem de 100 a 200 litros de água/dia, para que sejam atingidos os níveis de higiene exigidos pela sociedade moderna, além de também ser fundamental para as atividades industriais e produção de energia. (SALATI et al, 2006, p.40).

A sustentabilidade de uma região, quando se refere aos recursos hídricos, associa-se diretamente a limitação da disponibilidade do recurso, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, além da capacidade de suporte permanente que pode oferecer as atividades humanas em geral. Entretanto, evidencia-se que para a manutenção de um desenvolvimento sustentável em nível local e regional é necessário que seja preservado os recursos hídricos tanto em quantidade como em qualidade, para que as futuras gerações tenham as mesmas necessidades fundamentais que as nossas, embora provavelmente venham desenvolver técnicas mais adequadas para o manejo e a utilização dos recursos hídricos (REBOUÇAS, 2006).

O índice urbano de atendimento com coleta de esgotos sanitários no Brasil é de 47%, com a maior parte dos municípios apresentando índices muito abaixo da média brasileira. No Brasil o índice de tratamento potencial dos esgotos sanitários é de 20% da estimativa do esgoto produzido, a maior parte do território brasileiro não dispõe de tratamento algum de água. (ANA; CEBDS, 2009, p. 22).

Conforme a SEMAR (2010), no Estado do Piauí apenas 10% dos municípios possuem um sistema de abastecimento de água satisfatório, 84% apresentam problemas nos sistemas de abastecimento, necessitando de adequações, 5% não apresentam sistema de abastecimento disponível. Ressalta-se também que mais de 75% dos municípios do Estado são abastecidos por poços e 4% são abastecidos pelo rio Parnaíba, inclusive a capital, Teresina.

Tendo em vista que a disponibilidade de água é fator limitante para o desenvolvimento sustentável de uma região, o planejamento hídrico requer atenção especial para o estudo e análise dos mananciais capazes de suprir as necessidades hídricas de uma região. Assim sendo, comenta Tucci (2008) que o desenvolvimento sustentável urbano tem o objetivo de melhorar a qualidade da vida da população e a conservação ambiental, sendo também integrador na medida em que a qualidade de vida somente é possível com um ambiente conservado e que atenda às necessidades da população, garantindo harmonia do homem e da natureza.

Atualmente o rápido crescimento econômico tem apresentado grandes desafios para os gestores de recursos hídricos, comentam Bin Liu e Robert Speed (2009),

principalmente devido à crescente demanda por água, associada à escassez dos recursos disponíveis e ao aumento da poluição das águas. O que torna importante uma maior conscientização entre esses gestores da importância do regime de fluxo para a saúde do rio, como também a necessidade de um maior número de pesquisa para sustentar as avaliações de fluxo ambiental (WET, 2007; WANG et al, 2009 apud BIN LIU; ROBERT SPEED, 2009).

2.4 Gestão dos recursos hídricos

O gerenciamento dos recursos hídricos, para Mota (2008), é definido como sendo a aplicação de medidas estruturais e não estruturais para controlar os sistemas hídricos naturais e artificiais, em benefício humano e atendendo os objetivos ambientais.

A ANA é o órgão federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, cuja atuação desenvolve-se em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sendo de sua competência buscar soluções adequadas à poluição dos rios.

Segundo Mota (2008), as principais medidas preventivas de controle da poluição da água são: estabelecimento de exigências para o lançamento de efluentes em corpos de água, implantação de sistema de coleta e tratamento de esgoto, coleta e destino adequado dos resíduos sólidos, controle do uso de fertilizantes e pesticidas, reuso da água e disciplinamento do uso e da ocupação do solo.

Para a gestão das descargas de poluição, torna-se importante considerar não apenas a qualidade da água necessária para atender às necessidades humanas, mas também o necessário para proteger a saúde dos ecossistemas aquáticos a longo prazo (BIN LIU; ROBERT SPEED, 2009).

Salati et al (2006, p. 38) cita as ações que devem ser tomadas para atingir a sustentabilidade dos recursos hídricos, bem como melhorar a oferta atual de água em qualidade e quantidade, sendo elas:

aprofundar os estudos científicos e tecnológicos sobre os recursos hídricos do país, tanto para águas superficiais como subterrâneas; estabelecer mecanismos que permitam um aprimoramento contínuo e constante da legislação face à realidade da gestão da demanda e da oferta de recursos hídricos; aprimorar a estrutura institucional envolvida no manejo, utilização e fiscalização dos recursos hídricos; fazer com que os projetos que envolvem o manejo de recursos hídricos levem em consideração suas influências e interações com outros setores do meio ambiente e da sociedade; estabelecer facilidades para a formação de recursos humanos na ciência e na técnica de preservação e utilização dos recursos hídricos;

O Banco Mundial, em 1993, reconhecendo a gravidade da crise da água resolveu adotar os seguintes procedimentos para contribuir com a melhoria do gerenciamento dos recursos hídricos em nível global: 1- incorporar as questões relacionadas com a política e o gerenciamento dos recursos hídricos nas conversações periódicas que mantém com cada país e na formulação da estratégia de ajuda aos países onde as questões relacionadas com a água são significativas; 2- apoiar medidas para o uso mais eficiente da água; 3- dar prioridade à proteção, melhoria e recuperação da qualidade da água e à redução da poluição das águas através de políticas como o princípio do poluidor-pagador (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Souza (2002) aponta diferenças entre o planejamento e a gestão, explanando que o planejamento sempre remete ao futuro, busca prever a evolução de um fenômeno ou tentar simular os desdobramentos de um processo, com o objetivo de melhor precaver-se contra prováveis problemas, ou, inversamente, com o fito de melhor tirar partido de prováveis benefícios. O contrário da gestão que remete ao presente significa administrar uma situação dentro dos marcos dos recursos disponíveis, tendo em vista as necessidades imediatas. Todavia, tanto o planejamento quanto a gestão não prescindem à necessidade de diagnósticos que possam embasar o processo decisório e neste sentido, os diagnósticos de qualidade da água no âmbito específico do monitoramento da qualidade da água mostram-se de grande valia no sentido de compor possíveis cenários urbano-ambientais futuros, norteando o processo de tomada de decisões em diferentes momentos.

O planejamento é a preparação para a gestão futura, buscando-se evitar ou minimizar problemas e ampliar margens de manobra; a gestão é a efetivação, ao menos em parte [...], das condições que o planejamento feito no passado ajudou a construir. Longe de serem concorrentes ou intercambiáveis, planejamento e gestão são distintos e complementares. (SOUZA, 2002, p. 46).

O capítulo 7 da Agenda 21 (ONU, 1992) destaca que o planejamento ambiental deve viabilizar sistemas de infraestrutura ambientalmente saudáveis para absorver futuras demandas, ou seja, que possam ser traduzidos pela sustentabilidade do desenvolvimento urbano.

Para Rebouças (2006), a gestão integrada dos recursos hídricos é tarefa essencial para o desenvolvimento sustentável, que deve seguir um modelo que reconheça a necessidade de descentralização do processo decisório, e não somente as ações, para contemplar adequadamente as diversidades e peculiaridades físicas, sociais, econômicas, culturais e políticas, tanto regionais como estaduais, municipais ou de unidades hidrográficas críticas.

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos dependem fundamentalmente de informações confiáveis, tanto no que diz respeito à demanda como à oferta de água, que só poderá ser adequadamente estimada se existirem redes de monitoramento que gere dados sobre variáveis de interesse no setor de quantidade e de qualidade das águas (BRAGA; PORTO e TUCCI, 2006).

Tais informações são indispensáveis para um adequado manejo dos recursos hídricos dentro de bases sustentáveis, pois sua falta aumenta a incerteza de decisões e resultados dos usos e impactos dos recursos hídricos. Uma vez que a escassez global da água potável já é uma realidade, que atinge todas as classes sociais. A preservação dos ecossistemas aquáticos vem constituir atualmente em bandeira comum aos mais diferentes atores, não obstante estejam em lados antagônicos do modelo produtivo (SELBORNE, 2002).

A demanda pela gestão sustentável dos recursos hídricos vem sendo ideologicamente apropriada, tanto por modelos de planejamento e/ou gestão inseridos em uma ótica capitalista que objetiva, sobretudo, a reprodução em longo prazo do modelo produtivo e de seus agentes, quanto por uma perspectiva que prioriza a diminuição das injustiças sociais e a melhoria da qualidade de vida da população (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Conforme Rebouças (2006), os programas de gestão de recursos hídricos devem considerar os aspectos quantitativos e qualitativos, bem como a interação dos corpos de água com os demais componentes do ambiente, incluindo os meios físicos, biótico e antrópico.

As ações estruturais no gerenciamento dos recursos hídricos são aquelas que requerem a construção de estruturas para obter controle no escoamento e na qualidade das águas, construções de estações de tratamento, dentre outras. Já as ações não estruturais são programas ou atividades que não requerem a construção de estruturas, como zoneamento de ocupação do solo, regulamentos contra desperdícios de água, etc. (MOTA, 2008, p.125).

Deste modo, a gestão dos recursos hídricos deve ter caráter multissetorial, sistêmica, participativa, precisando ser descentralizada e integrada, de forma a compatibilizar o desenvolvimento econômico e social da região com a gestão ambiental, apoiando-se em legislação federal, estadual e municipal que dê suporte às ações de controle ambiental e da água (MOTA, 2008).

Para Marotta, Santos e Enrich-Prast (2008), a grave dimensão dos problemas decorrentes da má utilização dos recursos hídricos no meio urbano, demanda medidas mitigadoras urgentes. Para tanto, em um plano de gestão de uma Bacia Hidrográfica é importante que haja medidas de controle preventivo da qualidade e da quantidade da água de

seus recursos hídricos, devendo associá-las ao manejo adequado de outros recursos ambientais relacionados aos recursos hídricos, como o solo e a vegetação (ANA; CEBDS, 2009).

A Constituição Federal de 1988 dispõe em seu Artigo 225 sobre o meio ambiente, afirmando que todos possuem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, por ser um bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida.

Para cada uso da água são exigidos limites máximos de impurezas que a mesma pode conter, estabelecidos por organismos oficiais, que definem os padrões de qualidade dos corpos hídricos, como meio de melhor determinar um manejo sustentável (MOTA, 2008).

Os usos preponderantes dos recursos hídricos estão estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e define treze classes de qualidade para as águas doces, salobras e salinas do território nacional. Em seu artigo 24, dispõe que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis.

Para o enquadramento dos recursos hídricos de uma determinada área a referida Resolução estabelece metas ou objetivos de qualidade da água a ser obrigatoriamente alcançados ou mantidos, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo. Onde cada categoria de uso requer padrões de qualidade específicos e estabelecendo que as águas de melhor qualidade possam ser aproveitadas em uso menos exigente, para não prejudicar a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

O enquadramento de um rio em determinada classe se dá em função do uso que se pretende fazer da água (Quadro 1). Logo, o estabelecimento de uma classe de qualidade para determinado rio requer um conhecimento de suas condições físico-químicas e biológicas. No entanto, dada a escassez de informações sobre grande parte dos rios brasileiros, a própria Resolução estabelece que na ausência desses dados o rio deva ser enquadrado na classe 2, como forma de garantir as condições de qualidades frente aos usos mais exigentes (BRASIL, 2005).

Quadro 1- Classificação dos rios segundo normas da Resolução CONAMA nº 357/2005

Classe	Uso
Especial	<ul style="list-style-type: none"> · Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; · Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> · Abastecimento doméstico após tratamento simplificado; · Proteção das comunidades aquáticas; · Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); · Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas ou de frutas que se desenvolvem rente ao solo ou que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas; · Criação natural e/ou intensiva (aquicultura de espécimes destinadas à alimentação humana).
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> · Abastecimento doméstico, após tratamento convencional; · Proteção das comunidades aquáticas; · Recreação de contanto primário (natação, esqui aquático e mergulho); · Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; · Criação natural e/ou intensiva (aquicultura de espécimes destinadas à alimentação humana).
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> · Abastecimento doméstico após tratamento convencional; · Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; · Dessedentação de animais
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> · Navegação; harmonia paisagística; usos menos exigentes

Fonte: Brasil, 2005

Assim sendo, a água para consumo humano precisa atender a critérios de qualidade, de modo a não causar prejuízos à saúde de seus consumidores, devendo possuir um determinado padrão de potabilidade, com limites de tolerância das substâncias presentes na água como meio de garantir as características da água potável (MOTA, 2008).

O conhecimento da situação de cada corpo de água permitirá que sejam definidas as medidas a serem adotadas para controle da poluição, bem como ser estimadas as cargas de poluição que o mesmo poderá receber, em função dos seus usos e de sua capacidade de autodepuração, tornando-se necessário que sejam conhecidas as condições de qualidade dos recursos hídricos (MOTA, 2008).

Daí a importância da existência do monitoramento dos corpos hídricos para fornecer informações relevantes à gestão de bacias hidrográficas, disponibilizar diagnóstico atualizado e fazer previsão de futuros resultados ambientais, a fim de promover o desenvolvimento sustentável para a região (IORIS et al, 2008).

2.5 A importância do monitoramento da qualidade da água para a sustentabilidade dos corpos hídricos

A água integra uma das preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza (BRASIL, 2005).

Conforme Esteves (1998 apud MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008), as alterações na qualidade da água dos ecossistemas podem ser causadas por processos tanto naturais como antropogênicos. Enquanto as alterações naturais são comumente lentas e graduais, resultantes da lixiviação terrestre e do escoamento hídrico, as alterações antropogênicas são em geral induzidas rapidamente.

Para Demiraka et al. (2006), a avaliação da qualidade da água em diferentes países tornou-se um problema crítico nos últimos anos por conta do aumento da população e a crescente demanda por água, o que tem gerado a contaminação dos recursos hídricos, considerado um grave problema em áreas densamente urbanizadas.

Na atualidade, a inadequada utilização dos recursos hídricos é responsável, direta ou indiretamente, por uma série de problemas ambientais que afetam o meio urbano e deteriora a qualidade de vida, principalmente em áreas periféricas, devido à insuficiente rede de esgotos, a existência de conexões clandestinas no sistema de águas pluviais e de lançamentos diretos nos rios (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

O lançamento de esgotos nos corpos hídricos naturais é uma questão grave em muitos países em desenvolvimento e no Brasil não é exceção, devido à adição não gerenciada e em grande escala de efluentes, o que diminui a qualidade da água dos rios, sobretudo nas cidades

densamente povoadas, especialmente durante os meses de baixa vazão do rio (BHATTI; LATIF, 2011).

De acordo com Tucci (2006, p.405),

Os esgotos podem ser combinados (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e cloacal separadas). No Brasil, a maioria das redes é do segundo tipo; somente em áreas antigas de algumas cidades existem sistemas combinados. Atualmente, devido a falta de capacidade financeira para ampliação da rede de cloacal, algumas prefeituras tem permitido o uso da rede de pluvial para transporte do cloacal, o que pode ser uma solução inadequada a medida que esse esgoto não é tratado, além de inviabilizar algumas soluções de controle quantitativo do pluvial. A qualidade da água da rede de pluviais depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana.

Conforme Sperling (1996), os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos, e devido a essa fração de 0,1% é que há necessidade de se tratar os esgotos.

O crescimento da população, e o conseqüente aumento da atividade industrial têm contribuído para agravar os problemas ambientais, principalmente aquelas relacionadas à preservação do solo e das águas superficiais, prejudicando a qualidade de vida da população que está diretamente relacionada à disponibilidade e qualidade da água (LOPES TIBURTIUS; PERALTA-ZAMORA, 2004).

Dessa forma, os sistemas de monitoramento tornam-se ponto de apoio para medidas que promovam a melhoria da qualidade da água e a redução dos impactos causados pelos aproveitamentos dos recursos hídricos, além de servirem como subsídio às decisões tomadas pelos gestores de bacias hidrográficas, permitindo o acompanhamento da eficiência das medidas a serem adotadas e auxiliar novas mudanças de rumo (REBOUÇAS, 2006).

Para Tucci (2006), o conceito de monitoramento da qualidade da água vai além do simples verificar se os padrões legais de qualidade da água estão sendo obedecidos ou não, devendo atender à necessidade de se responder o que está sendo alterado e por que estas modificações estão ocorrendo. Haja vista que o gerenciamento da qualidade da água precisa dessas respostas para que as ações tomadas sejam eficientes na redução dos danos ao meio ambiente, bem como estabelecer formas de utilização desses dados, para que essas informações sejam úteis ao gestor dos recursos hídricos e à sociedade, resultando em um passo a mais no conhecimento dos processos da natureza.

Por conseguinte, a conservação dos recursos hídricos passa a ser uma demanda cada vez mais disseminada entre os agentes sociais, uma vez que sua escassez compromete a sobrevivência humana e prejudica a própria reprodução do capital em longo prazo. Já que o lançamento dos efluentes domésticos sem tratamento implica em gastos extras no orçamento destinado à construção de sistemas de coleta (MAROTTA; SANTOS e ENRICH-PRAST, 2008).

Estudos para avaliar a variação da qualidade da água do rio Bagmati e seus afluentes em Kathmandu, Vale do Nepal, realizados através do monitoramento de dezessete estações, com vinte e três parâmetros físicos e químicos na pré-moção, monção, pós-moção e inverno, revelou que no rio a montante em áreas rurais a qualidade da água foi afetada devido o tratamento de esgotos humanos e fertilizantes químicos. Já em áreas urbanas a jusante, o rio foi fortemente poluído com esgotos municipais não tratados (KANNEL et al, 2007).

Segundo Rebouças (2006), um sistema de monitoramento de qualidade da água deve ser composto por quatro grupos de atividades, sendo eles:

a) Coleta de amostras:

Pressupondo definição dos pontos de coleta, da sua frequência e seleção das variáveis de qualidade a serem amostradas;

b) Fase laboratorial:

Com o controle da qualidade num laboratório é a garantia da excelência dos resultados obtidos no sistema;

c) Armazenamento dos dados:

Requer cuidados necessários como procedimentos de verificação da consistência dos dados, uso do banco de dados em computadores com adoção de procedimentos fáceis e acessíveis de recuperação de dados;

d) Produção de informação:

Essa etapa define o uso do sistema de monitoramento, pois nesta fase os dados coletados se transformam em campo, analisados e armazenados, em informações úteis para todas as decisões a serem tomadas no futuro da Bacia Hidrográfica.

Estudando o estado de qualidade da água de um rio urbano no Paquistão, Bhatti e Latif (2011) apontaram a não disponibilidade de dados de qualidade da água como um dos principais problemas dos países em desenvolvimento. Conforme os autores, isso ocorre devido o monitoramento da qualidade da água, em grande parte ser feito por alguns órgãos do governo, de forma temporal e espacialmente fragmentada.

Para Marotta, Santos e Enrich-Prast (2008), o monitoramento de qualidade da água contribui efetivamente para reduzir a pressão da degradação antropogênica sobre os ecossistemas aquáticos, bem como auxiliar no planejamento de medidas de mitigação da degradação ecológica, além de contribuir para um melhor conhecimento acerca das propriedades bióticas e abióticas dos ecossistemas aquáticos.

Conforme Morais (2012), embora o Piauí possua uma densa rede hidrográfica, com dezenas de barragens e açudes, muito utilizados como áreas de lazer pela população e um litoral que atrai turistas em períodos de alta estação, ainda não dispõe de um programa de monitoramento de qualidade da água. O maior número de informações disponíveis sobre a qualidade de água no Estado refere-se ao rio Parnaíba, por ser o principal manancial de abastecimento, com monitoramento realizado pela AGESPISA, empresa responsável pela captação, tratamento e distribuição de água para consumo no estado.

Um amplo programa de monitoramento da qualidade da água torna-se, portanto indispensável para avaliar o estado da qualidade da água dos rios. Uma vez que os dados de monitoramento da qualidade da água são coletados, há necessidade de traduzi-los em uma forma que seja facilmente compreendida e interpretada de maneira eficaz. Para isso, o Índice de Qualidade da Água (IQA) desempenha papel importante neste processo de tradução, por ser considerada uma ferramenta de comunicação para transferência de dados de qualidade da água (BHATTI; LATIF, 2011).

2.6 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Por todo o mundo, a qualidade dos rios está se degradando por várias formas de poluição. Alguns estudos têm utilizado um Índice de Qualidade da Água, elaborado a partir de uma relação matemática que transforma várias análises dos parâmetros físico-químicos da água em um único número, para assim, facilitar a avaliação da qualidade das águas dos rios (MAANE-MESSAI et al, 2010).

Segundo Bhatti e Latif (2011), vários conjuntos de normas ou diretrizes de qualidade da água são emitidos ao longo do tempo por várias agências e autoridades, com a intenção de definir o limite máximo aceitável de poluição das águas por diversos poluentes, através de normas de qualidade da água, vulgarmente designados de acordo com o pretendido uso dos recursos hídricos.

Para Shil'Krot e Yasinskii (2002), é necessário desenvolver um modelo como o IQA para obter um controle da qualidade da água de um modo mais rápido e estabelecer uma simples comunicação para uma melhor gestão dos recursos.

A criação do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram os parâmetros a serem avaliados, o peso relativo dos mesmos e a condição com que se apresentam cada parâmetro, segundo uma escala de valores "rating" (CETESB, 2008). Dos trinta e cinco parâmetros indicadores de qualidade de água inicialmente propostos, somente dez foram selecionados, sendo eles:

a) Temperatura da água:

Desempenha importante papel no controle de espécies aquáticas, é considerada uma das características mais importantes do meio aquático por influir em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido). Seu valor pode variar entre 0°C e 30°C em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais) (BRASIL, 2005).

b) Sólidos em suspensão:

Todas as impurezas, com exceção dos gases dissolvidos, são considerados sólidos suspensos em corpos d'água. Altas concentrações de sólidos em suspensão reduzem a passagem de luz solar, afetam organismos bentônicos e desequilibram as cadeias tróficas (TAVARES, 2005).

c) Turbidez:

É a medida da capacidade da água em dispersar a radiação solar. É expressa, entre outras unidades, por NTU (Nephelometric Turbidity Units) e sofre influência direta da presença de sólidos em suspensão, que impedem que o feixe de luz penetre na água, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e algas (TAVARES, 2005);

d) Condutividade Elétrica:

Capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica, cujos valores são expressos em micro Siemens ($\mu\text{S cm}^{-1}$). Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água;

e) pH (potencial Hidrogeniônico):

O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos; pH baixo torna a água corrosiva; influencia nos ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies; águas com pH

elevado tendem a formar incrustações nas tubulações, sendo o recomendável a faixa de 6 a 9 (BRASIL, 2005);

f) Nitrogênio:

Pode estar presente na água sob várias formas: molecular, amônia, nitrito, nitrato, é um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, fenômeno chamado de eutrofização, são causas do aumento do nitrogênio na água: esgotos domésticos e industriais, fertilizantes e excrementos de animais;

g) Fósforo:

Encontra-se na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico; é essencial para o crescimento de algas, em excesso causa a eutrofização, suas principais fontes são: dissolução de compostos do solo; decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais

h) Oxigênio Dissolvido (OD):

É indispensável aos organismos aeróbios e um dos principais parâmetros para controle dos níveis de poluição das águas. Altas concentrações de oxigênio dissolvido são indicadores da presença de vegetais fotossintéticos e baixos valores indicam a presença de matéria orgânica (provavelmente originada de esgotos). O teor de saturação depende da altitude e da temperatura. Seu valor indicado não é inferior a 5mg/L (BRASIL, 2005).

i) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):

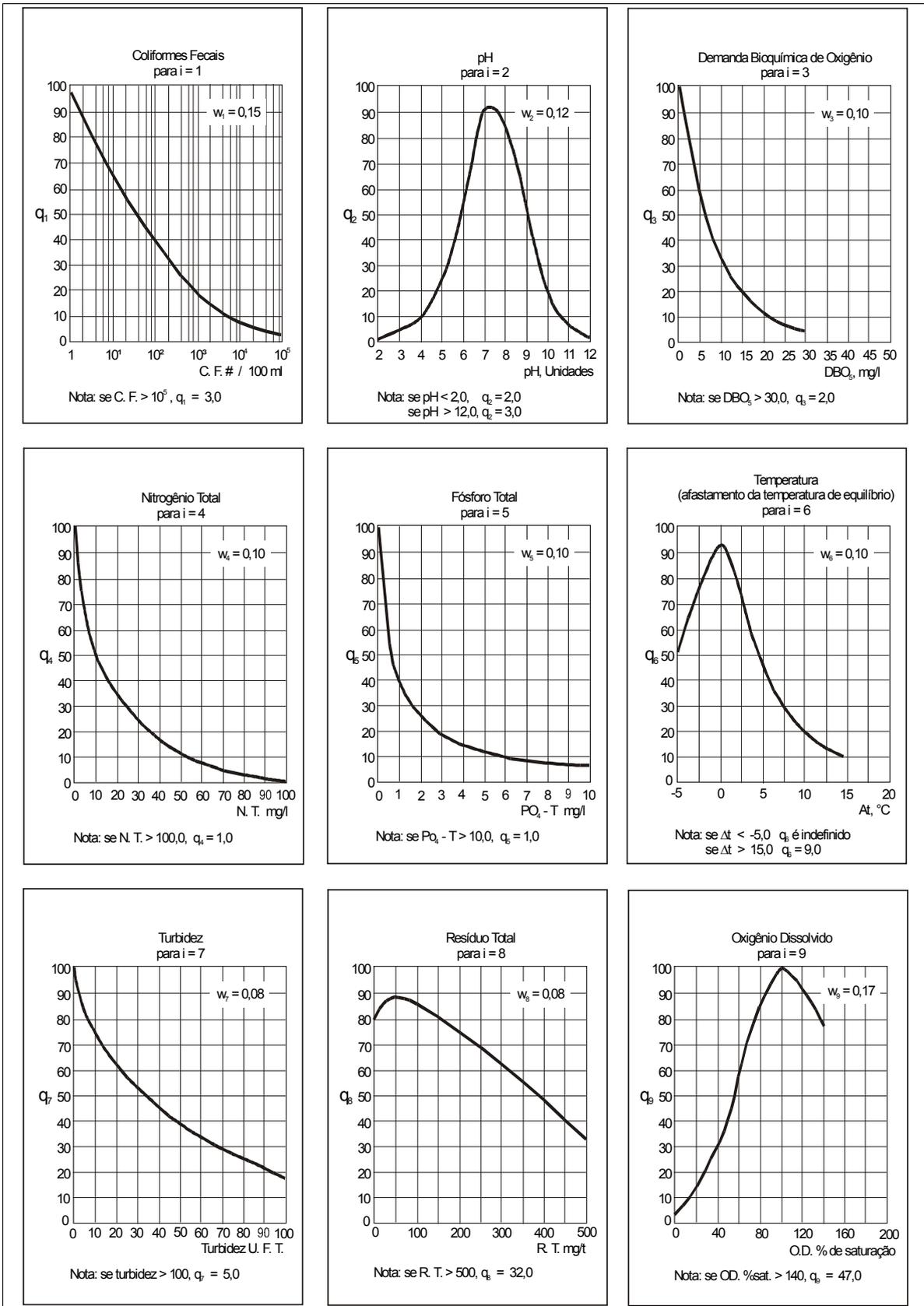
É a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias. Representa, portanto, a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica presente em um líquido (água ou esgoto). A DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigênio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à temperatura de 20 °C.

j) Coliformes Termotolerantes:

São indicadores da presença de microrganismos patogênicos na água. Os coliformes fecais existem em grande quantidade nas fezes humanas e quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microrganismos causadores de doenças.

A critério de cada profissional foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro, as quais estão sintetizadas em um conjunto de curvas médias, com o peso relativo correspondente a cada parâmetro na Figura 1 (CETESB, 2008).

Figura 1- Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas superficiais



Fonte: CETESB, 2008

Em estudo sobre a qualidade da água do rio Jacaré Pepira, Maier (1987 apud SILVA, 2008) verificou existir certa relação entre a temperatura e o teor de oxigênio dissolvido, afirmando que este tende a diminuir pelo aquecimento durante o dia e aumentar pelo resfriamento no período noturno e que através da fotossíntese, a vegetação submersa exerce grande influência sobre a variação diurna do teor de oxigênio dissolvido.

Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000), em pesquisa, constataram a existência de uma significativa relação entre o aumento da temperatura da água e dos sólidos suspensos com a condutividade elétrica da água, que pode ocorrer a partir de reações desencadeadas na fauna aquática frente ao aumento da temperatura.

Conforme estudo realizado em duas bacias hidrográficas urbanas (bacia Alto da Colina e bacia Sítio do Tio Pedro) na cidade de Santa Maria - Rio Grande do Sul, com o objetivo de qualificar e quantificar os resíduos sólidos lançado na rede de drenagem, Brites e Gastaldini (2007) comprovaram existir grande influência do uso e ocupação do solo na quantidade e tipo de resíduos sólidos veiculados na rede de drenagem. Observaram também existir uma dependência direta da intensidade da precipitação e do período de tempo seco antes do evento pluvial na quantidade de resíduos sólidos transportados.

A priori, a cor da água não representa risco direto à saúde humana, no entanto, a população pode associar esta característica à condição de poluição de um corpo hídrico e, assim, evitar seu uso. A coloração natural da água se origina através dos sólidos dissolvidos, decomposição da matéria orgânica, que libera compostos orgânicos complexos como ácidos húmicos, fúlvicos, ferro e manganês. A coloração de origem antropogênica está relacionada a resíduos industriais (tinturarias, tecelagem e produção de papel) e esgotos domésticos (MORAIS, 2012).

O Índice de Qualidade das Águas (IQA), principal indicador utilizado no país, está sendo empregado, atualmente, em 12 unidades da Federação, que representam cerca de 60% da população. Os dados de monitoramento englobam sete das 12 regiões hidrográficas brasileiras (Atlântico Sul, Paraguai, Atlântico Sudeste, São Francisco, Paraná, Atlântico Leste e Amazônica). Os parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos, valendo salientar que esse índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas para o abastecimento público. (BRASIL, 2006, p.58).

Este índice tem se mostrado um instrumento aceitável para a transformação de uma grande quantidade de dados em um simples número que permite avaliar a qualidade de um córrego e sua evolução no tempo. A determinação do IQA requer uma etapa de normalização

de cada parâmetro, transformada em uma escala de 0-100, onde 100 representa o máximo de qualidade (VICENTE, 2011).

Andrade et al. (2005) utilizou o IQA para verificar o nível de poluição da água do rio Trussu, na região de Iguatu – CE, cujos resultados revelaram uma redução da qualidade no período de estiagem, o que foi atribuído à densidade demográfica da região e a ausência de saneamento básico, com uma melhora da qualidade no final da estação chuvosa.

Para Tucci (2008), a qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores, como: a limpeza urbana e sua frequência, a intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana.

O crescimento demográfico nas áreas urbanas constitui um dos principais fatores responsáveis pela deterioração da qualidade ambiental das grandes cidades. O aumento no volume de água consumida nos centros urbanos gera conseqüentemente o aumento dos efluentes produzidos, que somado as falhas nos sistemas de coleta e distribuição de água conduzem os recursos hídricos urbanos a um estado de escassez qualitativa e quantitativa.

2.7 Efeitos da degradação de recursos hídricos sobre a saúde humana

A quantidade e qualidade dos recursos hídricos dependem das características físicas e biológicas dos ecossistemas que a compõem. Hespanhol (2006) relata que os padrões de qualidade de água referem-se a certo número de parâmetros capazes de refletir, direta ou indiretamente, a presença efetiva ou potencial de algumas substâncias ou microorganismos que possam comprometer a qualidade da água do ponto de vista de sua estética e de sua salubridade.

Para Rebouças (2006), as formas desordenadas de ocupação do território urbano como a ocupação em áreas de risco ambiental, o lançamento de esgotos não tratados em corpos de água utilizados para abastecimento, a falta de coleta do lixo urbano ou deposição errada do resíduo coletado, engendram o agravamento dos efeitos das secas ou enchentes, atingindo também as populações e suas atividades econômicas.

A saúde humana depende do suprimento de água potável segura, adequada, acessível e confiável. Os principais agentes biológicos descobertos nas águas contaminadas são as bactérias patogênicas, responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas (como a febre tifóide). Já os vírus mais comumente encontrados em águas poluídas são os da poliomielite e o da hepatite infecciosa, e dentre os parasitas destaca-

se a *Entamoeba histolytica*, causadora da amebíase e suas complicações (DAMASCENO, 2008).

Os principais indicadores de contaminação fecal são: os coliformes totais, os coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e os estreptococos fecais. Destes, os coliformes termotolerantes apresentam maior significância na avaliação da qualidade sanitária do ambiente, sendo considerado, portanto, bons indicadores de contaminação por efluentes domésticos (SPERLING, 1996).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, bilhões de pessoas estão arriscadas a contrair doenças transmitidas pela água. Em 1997, 33% de todas as mortes foram devidas a doenças infecciosas e parasitárias. As diarreias provocaram 2,5 milhões de mortes, a febre tifóide 600.000, a dengue e a dengue hemorrágica 130.000 mortes (SELBORNE, 2002).

Dessa forma, os aspectos qualitativos da água tornam-se cada vez mais importantes em muitas regiões desenvolvidas ou muito povoadas, para se evitar problemas tradicionais de escassez quantitativa, natural ou engendrada pelo crescimento acelerado ou desordenado das demandas locais (TUCCI, 2006)

Conforme Moraes e Jordão (2002), a cada 14 segundos morre uma criança vítima de doenças hídricas no mundo, estimando que 80% de todas as moléstias e mais de 1/3 dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada, e, em média, até 1/10 do tempo produtivo de cada pessoa se perde devido a doenças relacionadas à água, apontando os esgotos e excrementos humanos como as causas dessa deterioração da qualidade da água nos países em desenvolvimento.

Diversas doenças de veiculação hídrica ainda proliferam em todas as partes do país atingindo especialmente a população de baixa renda e onerando os serviços públicos de saúde, que passam a agir de modo curativo e não preventivo. Os dados existentes revelam que a grande maioria dos municípios brasileiros, em especial os da região Nordeste, se utilizam da rede pluvial para as ligações de esgotamento sanitário. Estima-se que cerca de 60% dos esgotos gerados no Brasil cheguem diretamente aos sistemas fluviais (BRASIL, 2006)

De acordo com Hспанhol (2006), as doenças infecciosas associadas à água podem ser classificadas de acordo com os modos de propagação, sendo esta classificação mais usada por engenheiros sanitaristas, por permitir uma avaliação direta dos efeitos das melhorias, ou ações corretivas que são implementadas. Esta classificação engloba quatro categorias:

a) Com suporte na água:

Quando os organismos patogênicos são carreados passivamente na água que é consumida por uma pessoa causando infecção. Exemplos: cólera e febre tifóide (cujos agentes etiológicos são o *Vibrio cholera* e a *Salmonella typhi*, respectivamente), sendo facilmente transmitido pelo sistema de distribuição de água;

b) Associadas à higiene:

Infecções causadas por falta de água e podem ser controladas com a disponibilidade de água e melhoria de hábitos de higiene. A disponibilidade de água e ensinamento de preceitos básicos de higiene pessoal já reduz a transmissão de doenças incluídas nessa classe;

c) Contato com a água:

Infecções transmitidas por um animal invertebrado aquático que vive na água, ou tem parte de seu ciclo de vida em moluscos ou outros animais aquáticos, podendo causar infecções através de contato com a pele. Como exemplo a esquistossomose;

d) Associadas a vetores desenvolvidos na água:

Infecções transmitidas por organismos patogênicos, através de insetos desenvolvidos na água ou que picam nas proximidades da água. Como exemplo temos: a malária, a febre amarela e a dengue.

Fonte de vida e de riqueza, a água torna-se causa de um número estatisticamente alarmante de doenças, pois mesmo com toda sua tecnologia, os seres humanos não são capazes de se adaptar à vida sem água. Todavia a irracionalidade do desperdício e da degradação superou o instinto de sobrevivência, colocando em risco a humanidade (SELBORNE, 2002)

Portanto, as gerações atuais precisam desenvolver uma nova cultura em relação ao uso da água, pois, além da garantia de seu próprio bem-estar e sobrevivência, devem cultivar a preocupação com as próximas gerações e com a natureza, as quais, por certo, também têm direito a esse legado.

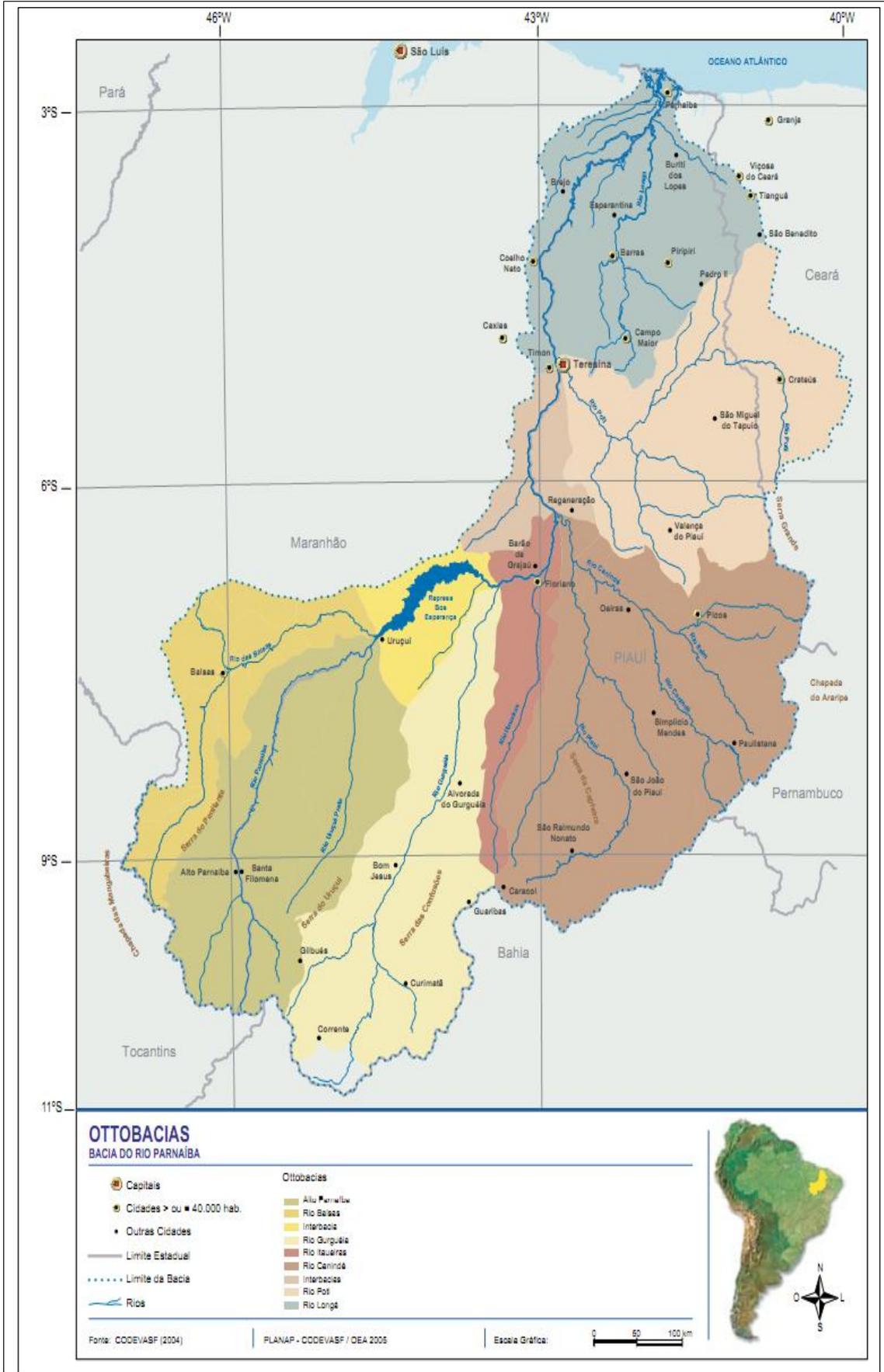
3. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL E DEMOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Bacia Hidrográfica do rio Poti

A hidrografia do rio Poti está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Parnaíba (Mapa 2), a segunda maior em importância na região Nordeste brasileira, que representa a mais densa rede hidrográfica dessa região, abrangendo todo o Estado do Piauí, que corresponde a 75% da área total da bacia, terras do Estado do Maranhão (19%) e do Estado do Ceará (6%), (CODEVASF, 2006).

O rio Parnaíba possui extensão aproximada de 1.485 km com sua nascente principal localizada na Chapada das Mangabeiras com o nome de riacho Água Quente a uma altitude de 700 m, entre os limites dos Estados de Tocantins, Maranhão e Piauí. Ele deságua no oceano Atlântico, apresentando uma foz do tipo delta onde concentra cerca de setenta ilhas, com áreas que variam de dezenas a centenas de metros quadrados (ARAÚJO, 2006).

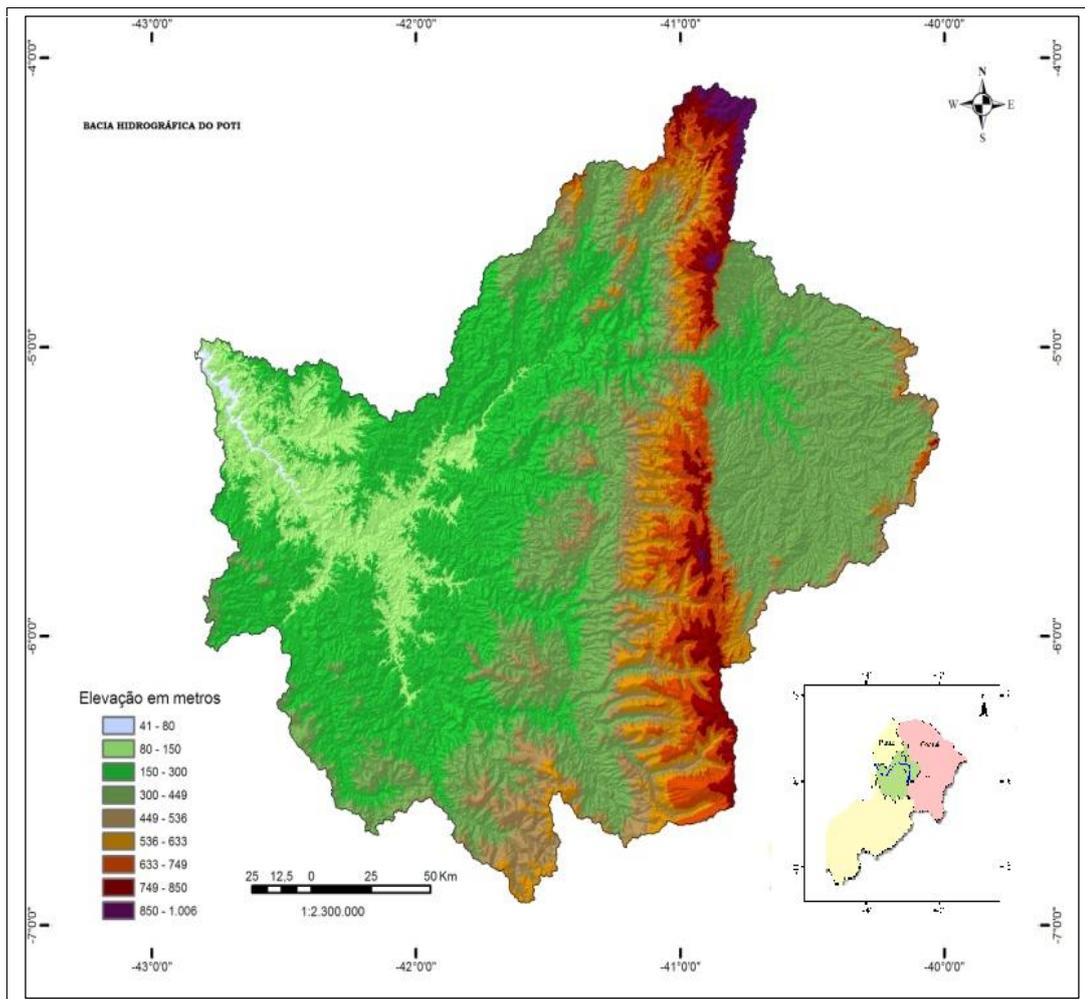
Mapa 2- Bacia Hidrográfica do Parnaíba



Fonte: CODEVASF, 2006

A Bacia Hidrográfica do rio Poti (Mapa 3) abrange os estados do Ceará e do Piauí, entre as coordenadas 4°06' e 6°56' de latitude Sul, e entre 40°00' e 42°50' de longitude a Oeste de Greenwich, apresentando uma extensão total aproximada de 52.270 km², no entanto quase sua totalidade está inserida no Estado do Piauí onde apresenta 38.797 km² de extensão (SEMAR, 2004).

Mapa 3- Bacia Hidrográfica do rio Poti



Elaboração: Reurysson Chagas de Sousa Morais, 2010

No Estado do Piauí, a área de drenagem do rio Poti possui os seguintes divisores de águas superficiais: a Norte, limita-se com a bacia do rio Longá, a Nordeste com a cuesta da Ibiapaba, a Leste com os altos da formação Serra Grande, a Sul com a formação Pimenteiras e formação Cabeças, a Sudoeste com os altos da formação Sardinha e a Oeste com os altos a formação Pedra de Fogo (SEMAR, 2004).

O rio Poti é um dos maiores efluentes do rio Parnaíba, possui sua cabeceira nos contrafortes orientais do Planalto da Ibiapaba no Estado do Ceará, a uma altitude aproximada de 600 m. Todo o seu curso possui direção definida pela estrutura geológica, encaixando-se em fraturas e falhas regionais (LIMA, 1982).

O alto curso do rio Poti localiza-se no escudo cristalino, formado predominantemente por granitos, gnaisses e xistos. No médio e baixo curso da sua bacia, a geologia das regiões geográficas, constitui-se de rochas sedimentares, cujas formações são dispostas sucessiva e paralelamente, em camadas sub-horizontais, para o interior da bacia sedimentar do Maranhão-Piauí (LIMA, 1982).

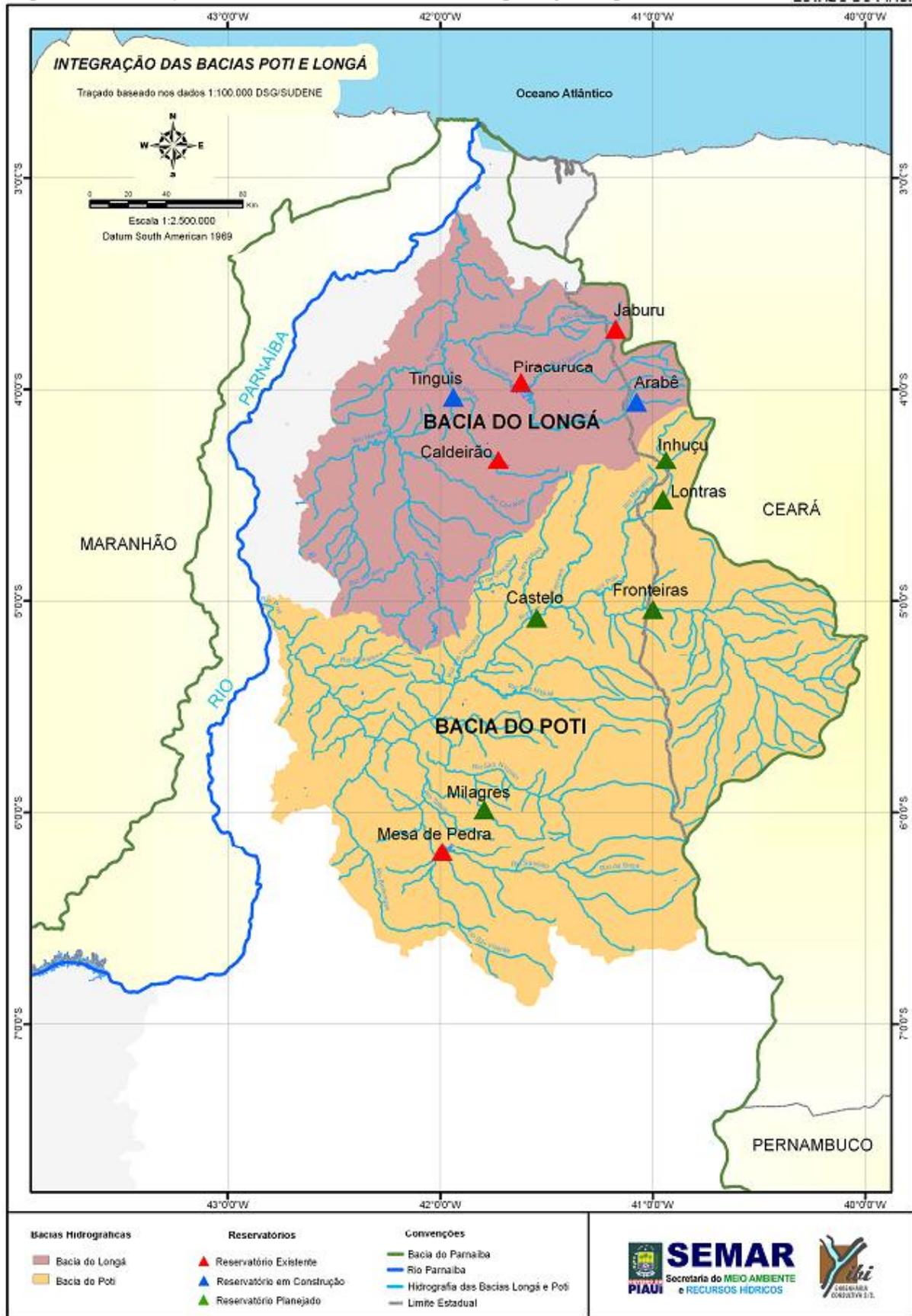
A nascente do rio Poti localiza-se no Estado do Ceará, pela junção dos riachos Santa Maria e Algodões sobre rochas cristalinas, pré-cambrianas, nas proximidades da cidade de Algodões, a partir daí se direciona ao norte até a Serra da Ibiapaba, onde a epigenia do rio Poti promoveu a abertura de uma garganta com desnível em torno de 300 m permitindo a sua entrada na Bacia Sedimentar do Parnaíba, até cruzar a fronteira entre os Estados do Ceará e do Piauí. Essa garganta também representa o ponto de mudança do percurso do rio entre o Estado do Ceará, onde drena a depressão do Crateús, sobre rochas do embasamento cristalino e o Estado do Piauí, drenando sedimentos das diferentes formações geológicas da Bacia Sedimentar Parnaíba (SEMAR, 2004).

A jusante do cânion, o rio Poti se encaixa em fraturas de reflexo da falha Pedro II, com direção Nordeste/Sudoeste, estendendo-se até o município de Prata do Piauí, onde sofre uma inflexão de 45°, tomando direção Noroeste até desaguar no rio Parnaíba, no bairro Poti Velho, em Teresina, em altitude aproximada de 55 metros (PMT, 2002).

O escoamento do rio Poti passa a ter um caráter permanente somente a partir da cidade de Prata do Piauí quando recebe seu maior tributário, o rio Berlingas, que oferece uma alimentação interna quando do fim das chuvas, em meio às condições de menor profundidade do lençol freático (LIMA, 1982).

Atualmente no Estado do Piauí está previsto a construção de onze reservatórios estratégicos que incrementarão a disponibilidade hídrica do Estado. Na Bacia do Poti há dois reservatórios planejados: um no município de Castelo do Piauí com capacidade 1.250 milhões de m³; outro no afluente São Nicolau no município de Santa Cruz dos Milagres com capacidade 492 milhões de m³; outros quatro estão em estudo preliminar elaborado para os municípios de São João da Serra (três reservatórios) e Pimenteiras (Mapa 4). A construção destes reservatórios pode influenciar no regime da vazão do rio Poti, controlando seu fluxo durante o longo período de estiagem existente na bacia (SEMAR, 2010).

Mapa 4- Localização dos reservatórios existentes e planejados para bacia do rio Longá e Poti



Fonte: SEMAR, 2010

O fato de existir uma Fronteira Seca que abrange as bacias dos rios Poti e Longá, mais especificamente a fronteira com o Estado do Ceará, da Serra da Ibiapaba até os municípios de Castelo, Pedro II, Piripiri e Piracuruca, formando uma faixa denominada de zona do Carrasco, foi planejado um marco regulatório organizado pela ANA, que estabelece a alocação de água para estas bacias, com o objetivo de estabelecer outorgas preventivas e de direito de uso, considerando a regularização das intervenções e usos atuais, bem como as regras para as intervenções e usos futuros (SEMAR, 2010).

O clima predominante na área da bacia do rio Poti, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw') com chuvas de verão e outono. Contudo no alto curso da bacia no Estado do Ceará o clima existente é do tipo semi-árido.

A cobertura vegetal da bacia do rio Poti reflete as condições climáticas e pedológicas da área, apresentando na porção oeste da bacia uma área de tensão ecológica, com espécie de caatinga e cerrado, na porção leste correspondente às cabeceiras dos seus afluentes da margem esquerda com predominância de vegetação do tipo Estepe (caatinga).

No Estado do Piauí a Bacia do Poti abrange 39 municípios: Agricolândia, Água Branca, Alto Longá, Aroazes, Assunção do Piauí, Barra d'Alcântara, Barro Duro, Beditinos, Buriti dos Montes, Castelo do Piauí, Demerval Lobão, Elesbão Veloso, Francinópolis, Inhuma, Juazeiro do Piauí, Lagoa do Piauí, Lagoa do Sítio, Lagoinha do Piauí, Milton Brandão, Monsenhor Gil, Novo Oriente do Piauí, Novo Santo Antônio, Olho d'Água do Piauí, Passagem Franca do Piauí, Pau d'Arco do Piauí, Pimenteiras, Prata do Piauí, Santa Cruz dos Milagres, São Félix do Piauí, São Gonçalo do Piauí, São João da Serra, São Miguel da Baixa Grande, São Miguel do Tapuio, São Pedro do Piauí, Sigefredo Pacheco, Valença do Piauí, Pedro II e Várzea Grande (SEMAR, 2010).

Embora a maior densidade demográfica desta bacia esteja na cidade de Teresina, onde seu leito forma vários meandros até a sua foz, a capital piauiense não consta na Bacia do Poti, em virtude de sua demanda ter sido apropriada à bacia do médio Parnaíba.

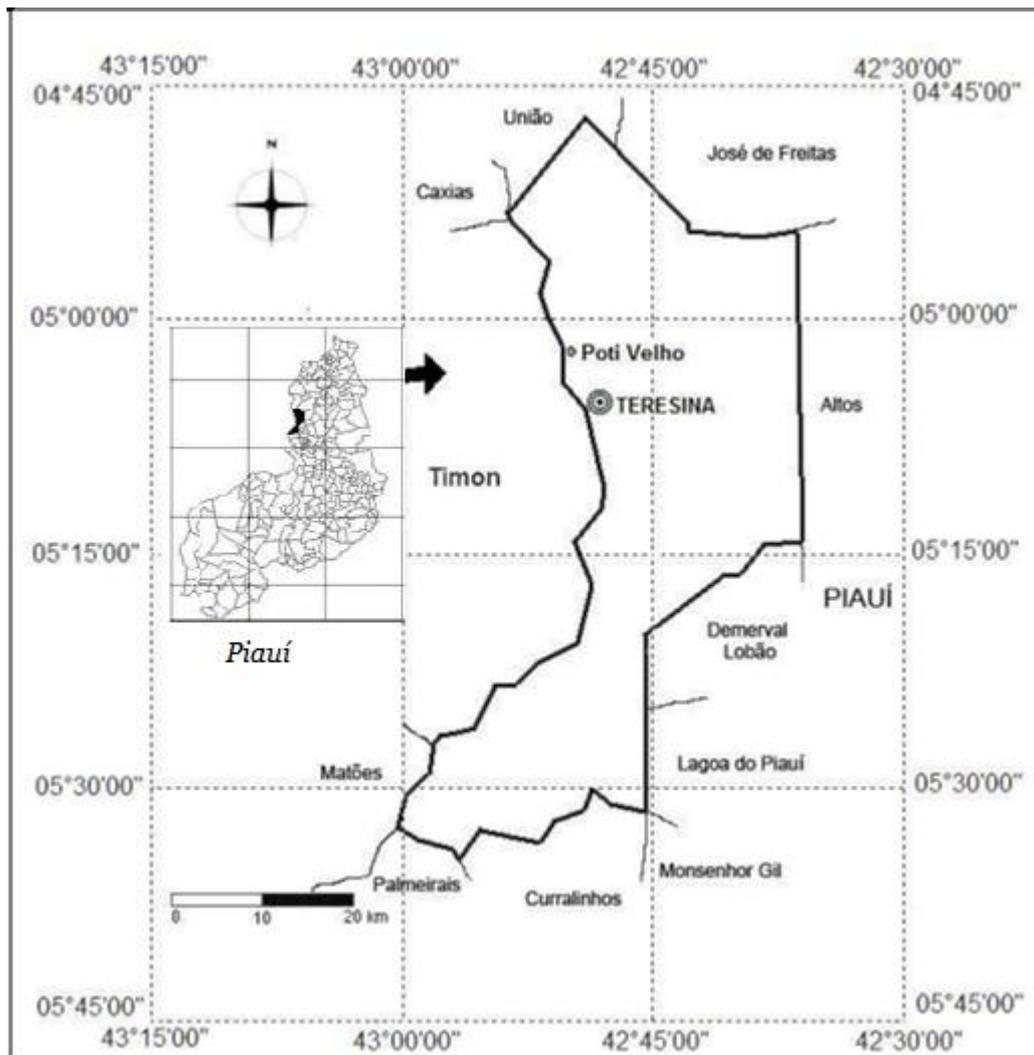
Segundo Lima (1982), um fato peculiar do rio Poti em Teresina corresponde ao represamento de suas águas pelo rio Parnaíba, em função do leito deste rio se encontrar em um nível de base mais alto que o do rio Poti, situação essa que provoca a acumulação de um grande volume de água no seu leito.

3.2 A cidade de Teresina-PI

A capital piauiense, Teresina, está localizada na Mesorregião Centro-Norte piauiense, entre as coordenadas 5°08' de latitude sul e 42°8' de longitude oeste, ocupando uma área aproximada de 1.392 km² da margem direita do rio Parnaíba, na porção do médio curso dessa Bacia Hidrográfica, onde recebe o rio Poti, um de seus maiores tributários (IBGE, 2011).

Teresina representa 0,72% da área total do Estado do Piauí (PMT, 2002), encontra-se delimitada em seu perímetro geográfico da seguinte forma: ao norte, limita-se com os municípios de União e José de Freitas; ao sul, com os Municípios de Nazária, Demerval Lobão, Palmeirais, Curralinhos e Monsenhor Gil; a leste com os Municípios de Altos e Pau D'arco do Piauí, e a oeste com o Estado do Maranhão (Mapa 5).

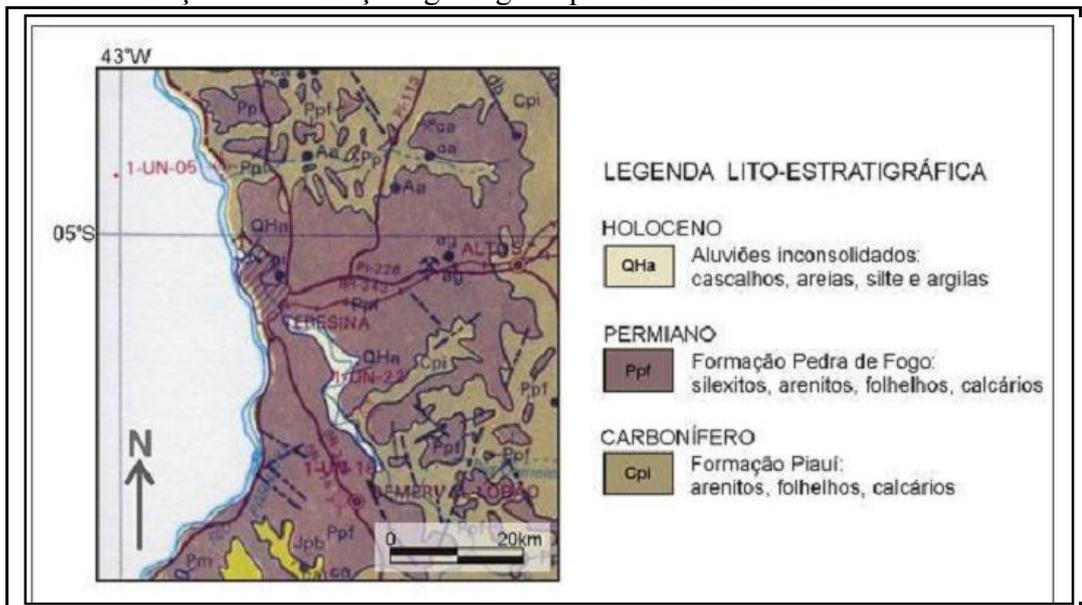
Mapa 5- Localização do município de Teresina-Piauí.



Fonte: Modificado, Amorim, 2010

Conforme o Projeto Avaliação de Depósitos Mineraiis para a Construção Civil nos Estados do Piauí e Maranhão, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), foi detectado que as rochas mais antigas encontradas em Teresina são integrantes das Formações Piauí e Pedra de Fogo, pertencentes a unidade geológica da Bacia Sedimentar do Parnaíba que possui significativa expressão geográfica em todo município a Formação Pedra de Fogo. A mais recente são as aluviões inconsolidados do Holoceno (Figura 2).

Figura 2- Localização das formações geológicas presentes em Teresina.



Fonte: CPRM(1995 apud Viana (2007).

Segundo Viana (2007), as condições geológicas e geomorfológicas do sítio urbano de Teresina são caracterizadas pela hidrografia dos rios Poti e Parnaíba, bem como pelos baixos níveis interfluviais e chapadas. A cidade possui também pequenas planícies-lacustres desenvolvidas em segmentos descontínuos, formando várzeas nas margens do rio Parnaíba, e na confluência como rio Poti, a planície fluvial alcança extensão aproximada de 10 km com largura cerca de 2 km, abrigando um conjunto de lagoas alongadas com extensão de até 2 km e largura na ordem de 500m.

Conforme PMT (2002), em muitas áreas de Teresina, o traçado dos loteamentos e de conjuntos habitacionais foram construídos sem levar conta as formas de relevo, ocasionando o desmate de grandes áreas e traçando ruas sem obedecer às curvas de níveis, descendo encostas e cortando fundos de vales indiscriminadamente, sem um plano que incluía obras de contenção e áreas de proteção, o que provoca o desencadeamento de processos erosivos e instabilidade nas construções, além da degradação da paisagem e altos custos financeiros e sociais.

Para compreender o clima de Teresina-PI, relata Andrade (2000), é importante entender a princípio a circulação geral e regional da atmosfera, tendo em vista, que características de um clima são expressas através do resultado de uma conjugação entre influências da movimentação atmosférica e toda a sua dinâmica através das particularidades físico-naturais que o espaço local apresenta.

Conforme Azevedo et al (1998 apud FERREIRA e MELLO, 2005), do ponto de vista climático a região Nordeste brasileira é considerada semi-árida por apresentar substancial variação temporal e espacial de precipitação, além de elevadas temperaturas ao longo do ano.

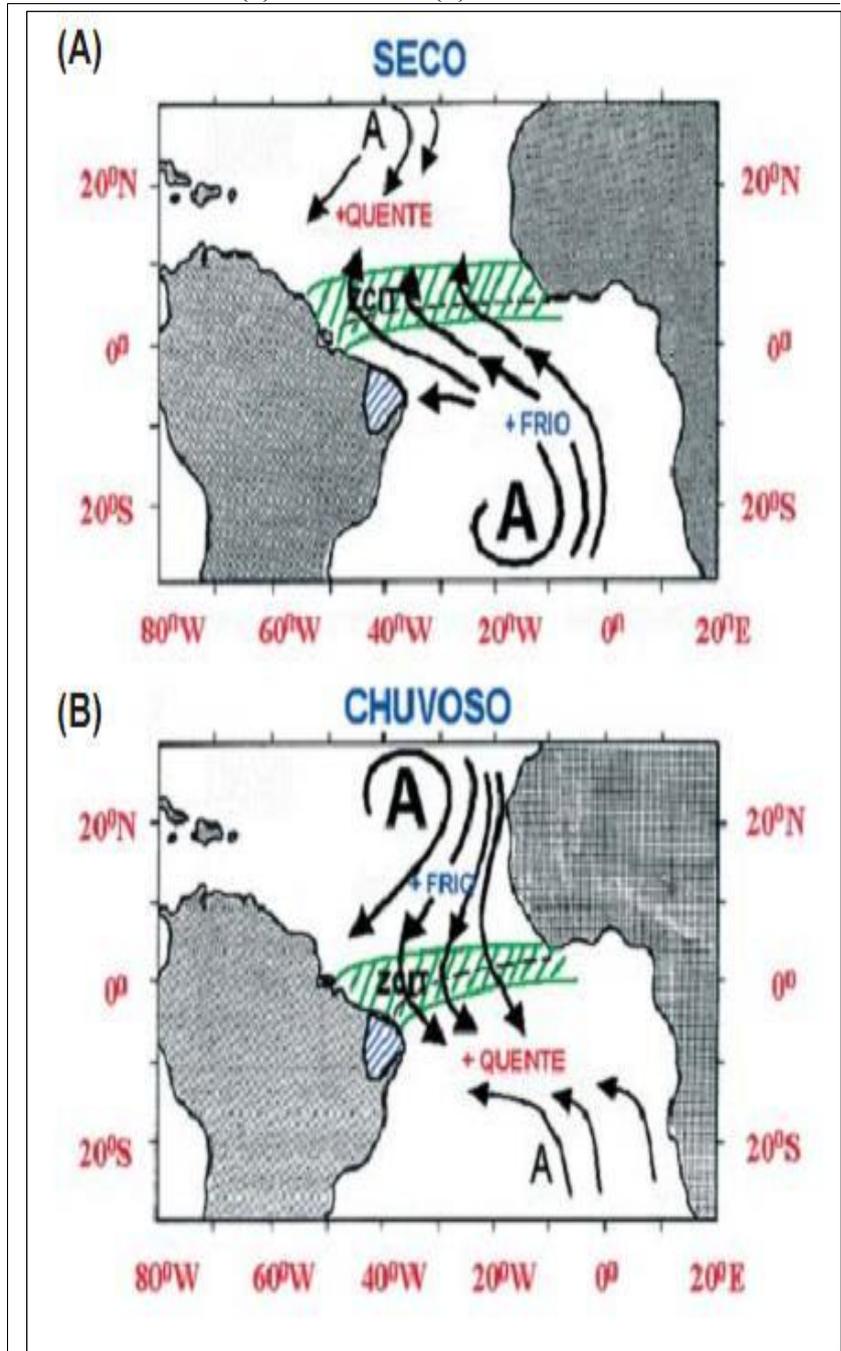
Segundo Ferreira e Mello (2005), em geral, existem cinco mecanismos que governam o regime de chuva da região Nordeste brasileira: a) Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS); b) Temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); c) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), d) Frentes Frias; e) Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Além desses mecanismos destaca-se também a atuação das linhas de Instabilidade (LI), dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) bem como o efeito das brisas marítima e terrestre na precipitação.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis (o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens), baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação. A ZCIT é o fator mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Normalmente ela migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 14° N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2 a 4° S entre fevereiro a abril. Esse deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre essa bacia do oceano Atlântico Tropical. 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. (FERREIRA e MELLO, 2005, p. 19).

Para Melo et al (2000), a influência da ZCIT é marcante principalmente em anos chuvosos e dentre os estados nordestinos que mais recebem a influência da ZCIT estão: norte e centro do Maranhão e Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e sertões da Paraíba e Pernambuco. Nesta área, a estação chuvosa vai de janeiro a junho com máximos de precipitação durante março e abril, meses nos quais a ZCIT atua de forma mais intensa.

A Figura 3 demonstra de maneira simplificada os padrões oceânicos e atmosféricos que contribuem para a ocorrência de anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos, na parte norte da região Nordeste do Brasil.

Figura 3- Padrões de circulação atmosférica e de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul, durante anos secos (a) e chuvosos (b) no Nordeste.



Fonte: Nobre e Molion (2009 apud Braga 2009).

A área hachurada em (A) indica a posição da ZCIT e o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul (AAS), as setas indicam a intensificação dos ventos alísios de sudeste. Em (B) a área hachurada indica a posição da ZCIT e o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte (AAN), as setas indicam a intensificação dos ventos alísios de nordeste.

Segundo Uvo (1989 apud MELO et al 2000), a permanência mais longa ou curta da ZCIT em torno de suas posições mais ao Sul é o fator mais importante na determinação da

qualidade da estação chuvosa no Norte do Nordeste do Brasil, por determinar a duração da estação chuvosa. Em anos menos chuvosos, a ZCIT permanece em suas posições mais ao Sul no período de fevereiro a março e para anos mais chuvosos até o mês de maio.

Afirmam Melo et al (2000), que também pode-se verificar a interação da ZCIT com sistemas meteorológicos que atuam principalmente entre os meses de janeiro e fevereiro nos altos níveis (Cavados e Vórtices Ciclônicos), os quais, dependendo da posição na qual se encontram, tanto podem inibir como favorecer a ocorrência de chuvas sobre o Norte do Nordeste brasileiro.

Outro fenômeno que provoca aumento de precipitação na porção Norte do Nordeste brasileiro é a *La niña*, que apresenta comportamento inverso ao *El niño* e o Dipolo do Atlântico. Ferreira e Mello, (2005, p. 25) explicam a influência desses fenômenos nos eventos de precipitação na região Nordeste do Brasil,

O fenômeno El Niño (aquecimento acima do normal das águas do oceano Pacífico Equatorial), 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 Temperatura da Superfície do Mar-TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), que é desfavorável às chuvas. O fenômeno La Niña (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.

Conforme Andrade (2000), Teresina está situada numa área de influência do clima tropical alternadamente úmido e seco, caracterizado principalmente por ser quente, e possuir uma estação chuvosa no verão e outra seca no inverno. Essa variação temporal da precipitação é determinante essencialmente pelo comportamento e pelas características das massas de ar que atuam com maior frequência nessa região.

No período seco a massa de ar dominante em Teresina corresponde à Massa Tropical Atlântica, que se caracteriza por ser seca e estável, produzindo pouca ou nenhuma pluviosidade. Em Teresina ocorrem também chuvas convectivas, que geralmente caem de forma pontuada e descontínua no espaço, atingindo uns bairros e outros não.

Como a umidade relativa do ar é inversamente proporcional à temperatura, observa-se para Teresina um aumento da umidade nos meses de menores temperaturas e diminuição nos meses de maior temperatura, quando a taxa de evaporação aumenta, quase sempre superior à quantidade das chuvas, possibilitando um déficit hídrico na cidade (ANDRADE, 2000)

Feitosa et al (2010), ao estudarem o comportamento da temperatura do ar em Teresina com o processo de urbanização entre o período de 1977 e 2009, constataram que o perímetro

urbano de Teresina perdeu 29,69% de sua vegetação, sugerindo a aplicação de medidas técnico-administrativas para minimizar as alterações ambientais, as quais podem gerar subsistemas climáticos que interferem na dinâmica atmosférica urbana.

Teresina vem passando por aumento de temperatura, sendo inegável a influência do processo de urbanização. Os desvios interanuais, que também são refletidos nos elementos meteorológicos, podem também, estar relacionados com as variações que ocorrem na circulação atmosférica. O aumento de temperatura registrado em Teresina apresenta-se maior a partir dos anos 1990 quando já se configurava acelerado processo de urbanização refletido nas diversas formas de ocupação do solo, como desmatamento, impermeabilização, crescimento horizontal e vertical da construção civil, aumento da poluição atmosférica causada pelo tráfego de veículos automotores e outras atividades urbanas. Essas práticas podem favorecer o aumento da temperatura urbana. (FEITOSA et al, 2010, p.15).

Teresina encontra-se em uma faixa de contato das formações vegetais dos tipos floresta subcaducifólia, cerrado e caatinga. Conforme a PMT (2002), em seu sítio urbano predomina a floresta subcaducifólia mesclada de babaçu, que pode ser observada tanto nos parques ambientais do Mocambinho, Parque da Cidade e Zoobotânico, como no bairro Santa Maria do Codipi.

O processo de urbanização no Piauí acentuou-se na década de 1950, tendo a cidade de Teresina a sua maior expressão urbana. Na década de 1960, verificou-se um acentuado processo de urbanização, com o aumento do fluxo migratório campo-cidade e o consequente assentamento das populações [...], de forma não planejada. Espaços vazios foram sendo ocupados progressivamente, determinando um quadro marcado por profundas contradições sociais. (FAÇANHA, 1998, p.69).

Segundo Batista (2006), o grande impulso de urbanização em Teresina na década de 1950, ocorreu com a construção da rodovia BR 316, que estimulou a ampliação da cidade na direção sul, ocasionando a instalação e ampliação das atividades de comércio e serviços, o que veio a tornar a Avenida Barão de Gurgueia o maior centro atacadista de comércio e de serviços em Teresina.

A partir da década de 1960, com a implantação do Programa Nacional de construção de estradas, Teresina teve um expressivo crescimento, devido sua localização estratégica em relação à malha rodoviária do país, haja vista a capital fazer interligação obrigatória entre as regiões Norte e Nordeste do Brasil (BATISTA, 2006).

As políticas públicas implementadas na cidade a partir dos anos de 1970, relacionadas a investimentos em saúde, educação, energia elétrica, habitação popular e desenvolvimento da malha viária, interligando Teresina a centros regionais e nacionais, atraiu enorme contingente

de imigrantes, contribuindo para transformá-la num pólo de atração populacional, além de intensificar seu processo de urbanização (VIANA, 2007).

Ao final da década de 80, foram construídas, na cidade, aproximadamente 23.179 unidades habitacionais, representando uma quantidade superior ao triplo da existente na década anterior. Essa produção expressiva de habitações, nas décadas de 70 e 80, demonstrou o grau de importância e de complexidade que adquiriram os conjuntos habitacionais na produção do espaço urbano de Teresina, estimulando a expansão da cidade em todas as direções. (FAÇANHA, 1998,p.170).

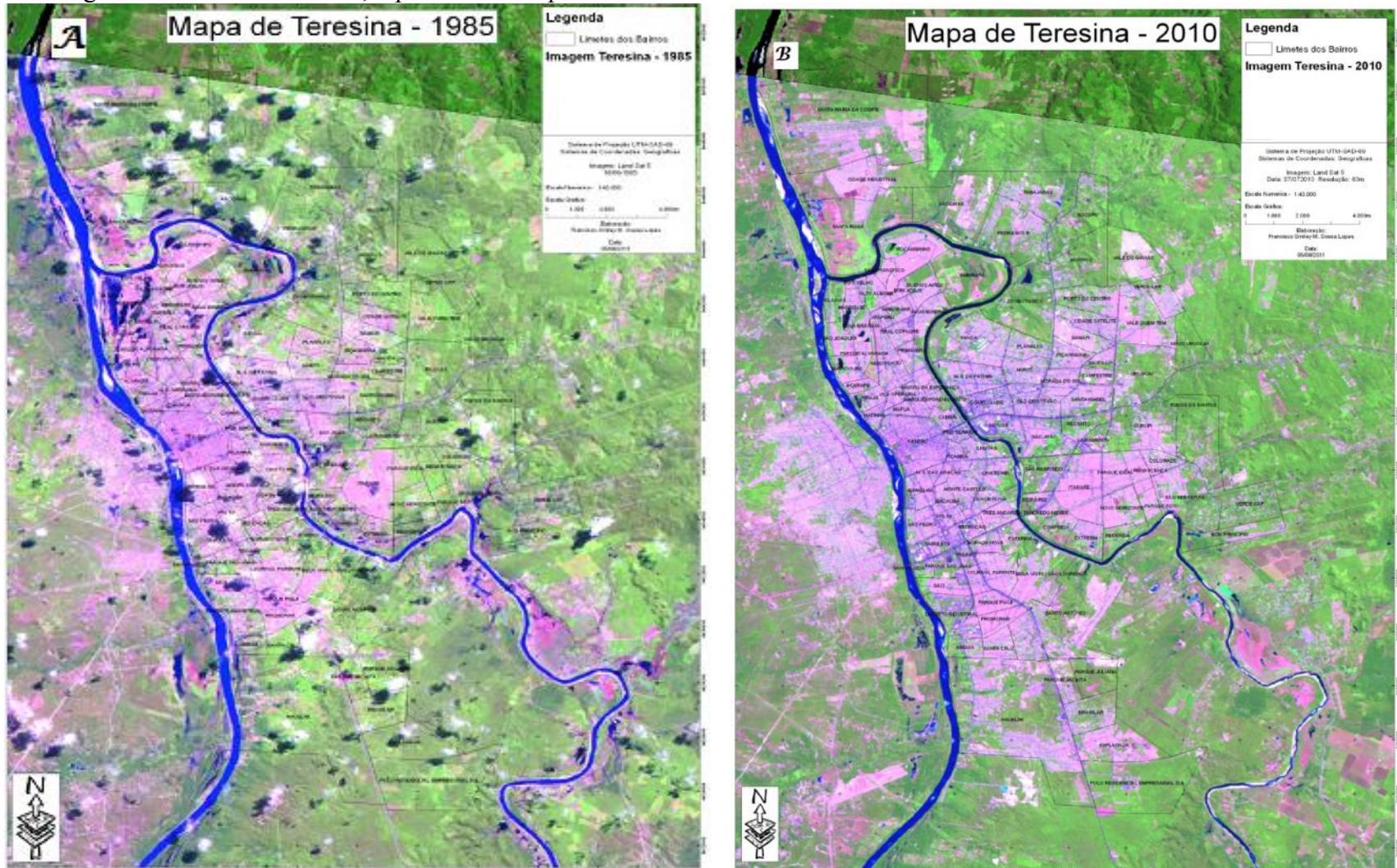
Conforme Viana (2007), os agentes imobiliários desempenharam importantes papel no processo de expansão urbana da capital, interferindo no padrão de uso do solo, como o início da verticalização da cidade, o que gerou dinâmicas urbanas diferenciadas principalmente no centro e na zona leste da capital, tornando uma realidade cada vez mais presente na paisagem urbana de Teresina.

Na década de 90 foram construídos conjuntos habitacionais, originários de processos de invasão ou oficiais, em todas as direções da malha urbana, ao sul (Brasil, Esplanada, Santa Cruz), leste (Vala Quem Tem, Pedra Mole) e norte (Mocambinho, Santa Maria da Codipi), sem obedecer a nenhum critério de organização espacial da cidade. Assim, pode-se observar que o crescimento recente de Teresina, principalmente o da década de 1990, passa a se caracterizar sob duas formas opostas: uma, pela expansão da periferia, incorporando ao espaço urbano grandes áreas vazias, apresentando uma população de baixa renda; e a outra, pelo crescimento vertical, que ocorreu com a construção de edifícios de luxo, nos bairros mais valorizados da cidade, revalorizando-os. (BATISTA, 2006, p. 83)

Segundo o IBGE (2011), Teresina apresenta uma densidade demográfica de 584,95 hab/Km², possuindo uma população aproximada de 814.439 habitantes, com 767.777 habitantes (94,27%) vivendo na área urbana e 46.662 (5,73%) habitantes vivendo na zona rural. Possui como principal base da sua economia o setor terciário, compreendendo as atividades de governo, comércio e prestação de serviços.

O expressivo aumento do núcleo urbano de Teresina nas últimas décadas pode ser observado na Figura 4 através das imagens do satélite *Land Sat 5*, do período compreendido entre 1985 e 2010, onde visualiza-se uma dinâmica espacial acentuada da urbanização da capital, sobretudo nas zonas leste e sul da capital.

Figura 4- Imagem do satélite Land Sat 5, representando o perímetro urbano de Teresina-PI



Legenda: (A) a cidade de Teresina em 1985. (B) a cidade de Teresina em 2010.
 Fonte: Satellite Land Sat, 2011

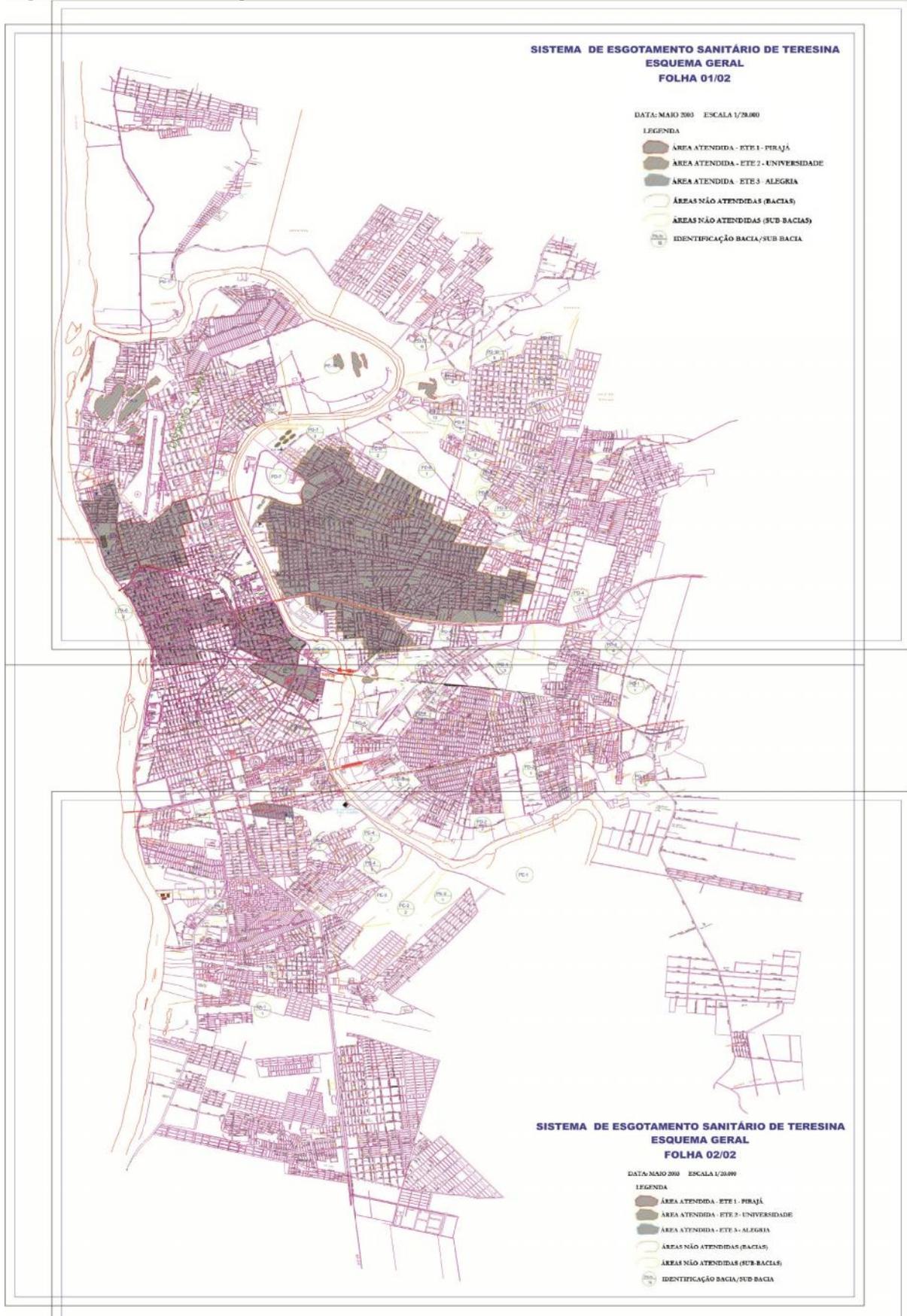
Conforme dados da Secretaria de Planejamento do Município (PMT, 2007), Teresina encontra-se composta por 120 bairros e 205 vilas distribuídos para fins administrativos em quatro administrações regionais: Centro/Norte, Sul, Leste e Sudeste, também chamadas de Superintendências de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SDU's) cujo objetivo é subsidiar a governança municipal a partir da descentralização.

Em função do acelerado processo de urbanização ocorrido nos últimos anos, Teresina tem crescido acima da sua capacidade de atender às necessidades sociais de seus habitantes. Frente a essa realidade afirma Monteiro (2004) que a expansão da cidade, a ocupação das margens dos rios e o surgimento de bairros foram acompanhados de um grande número de loteamentos irregulares construídos em áreas impróprias para habitação, como a margem dos rios, lagoas e encostas, o que pode gerar problemas de drenagem, erosão do solo, intensificação do assoreamento dos rios, além da disseminação do lixo no solo e na água.

O crescimento desordenado da cidade associado à pavimentação das ruas e a construção de edifícios em áreas que não poderiam mais suportar a infiltração dos despejos, fez com que os esgotos passassem a correr pelos canais destinados às águas pluviais.

De acordo com Monteiro (2004), Teresina possui uma baixa cobertura do sistema público de esgoto sanitário na ordem de 13% da população urbana, conforme demonstra a Figura 5, tal circunstância induz os habitantes ao uso de alternativas para o esgotamento sanitário de seus domicílios, como a adoção das fossas sépticas e o lançamento de esgotos a céu aberto nas vias públicas, conectadas às galerias de drenagem urbana, para posterior lançamento destes efluentes nos cursos d'água, tidos como receptores. Embora tenha iniciado em 2009 a ampliação do sistema esgotamento sanitário nos bairros da capital, observa-se que considerável parcela da população ainda não será contemplada, necessitando maiores investimento neste setor, para evitar maiores prejuízos à saúde dos mananciais.

Figura 5- Sistema de Esgotamento Sanitário de Teresina em 2003



Fonte: Adaptado de Monteiro, 2004

As áreas em destaque acima representam os bairros em Teresina que possuem tratamento de esgotamento sanitário, localizados principalmente em parte da zona leste e centro da capital, com uma pequena área de tratamento na zona sul, onde houve um dos mais expressivos aumento de conjuntos habitacionais nos últimos anos.

Conforme Monteiro (2004), Teresina possui uma infraestrutura de coleta de esgoto sanitário que compreende rede coletora do tipo separadora, com estações elevatórias, interceptores, coletores tronco, emissários e estações de tratamento de esgotos do tipo lagoas de estabilização.

Em 1974 foi implantada a primeira lagoa de estabilização da estação de tratamento de esgotos do Pirajá - ETE do PIRAJÁ - uma lagoa facultativa fotossintética, para atender ao tratamento dos esgotos de 1.200 ligações, [...]. Em 1995 foi implantado o sistema de coleta e tratamento dos esgotos do conjunto Morada Nova, conhecido como sistema da Alegria. Até o final de 1997, os esgotos domésticos coletados e tratados em Teresina correspondiam a aproximadamente 4% do total de ligações de água. Era certamente um dos menores índices de tratamento de esgotos das capitais brasileiras e, evidentemente retratava sérias condições de insalubridade e de perigo para a comunidade local. Apesar destas condições, nunca foi desenvolvida na cidade qualquer campanha visando o esclarecimento e a conscientização da população em relação aos graves problemas relacionados com os esgotos sanitários. Em 1998, com o Projeto SANEAR, o sistema de esgotos de Teresina atingiu 200 km de rede e passou a contar com a estação de tratamento de esgotos da zona Leste – ETE LESTE. Em 1999 foi realizada a ampliação da ETE - PIRAJÁ, que passou a ter duas lagoas (A lagoa fotossintética facultativa foi transformada em lagoa aerada e foi acrescentada uma de maturação). [...] Em 2.000 foi ampliada a rede coletora do Centro e ampliado o atendimento para a zona Norte. Em 2.002 a rede coletora da cidade passou para 325 km, correspondendo [...] a um atendimento de 13% da população abastecida com água (PMT, 2002).

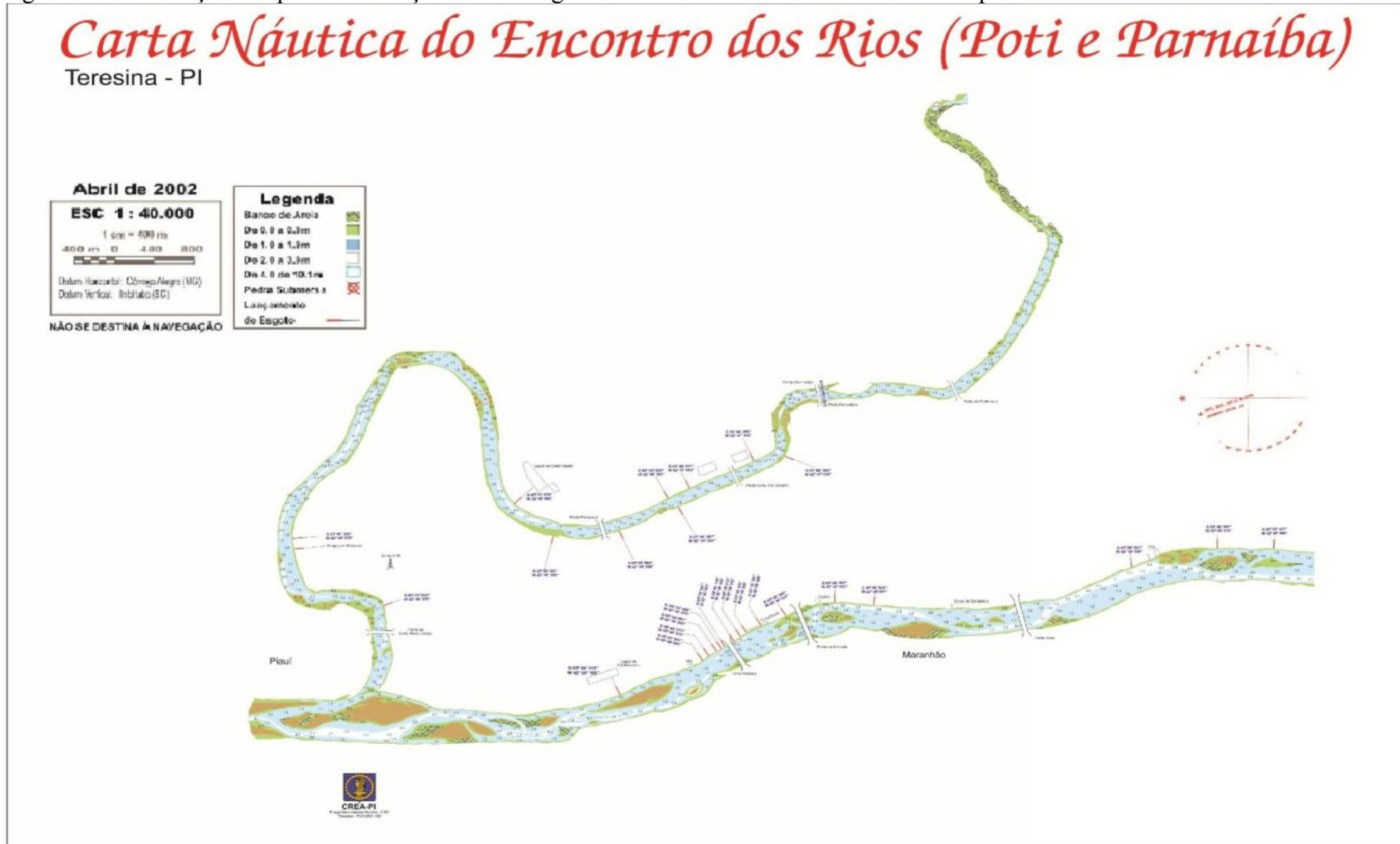
A operação e manutenção do esgotamento sanitário de Teresina estão sob responsabilidade da empresa concessionária estatal Águas e Esgotos do Piauí S.A (AGESPISA) que constatou, em inúmeros relatórios técnicos, a crescente contaminação do lençol freático em Teresina, tanto pelo uso indiscriminado de fossas sépticas, como pelo lançamento de esgotos a céu aberto escoando e infiltrando em direção aos rios Poti e Parnaíba (MONTEIRO, 2004). Permanecendo ainda baixo a porcentagem da população atendida pelo sistema básico de saneamento.

Para Monteiro (2004), a construção de conjuntos habitacionais e a redução das áreas disponíveis para as casas individuais fizeram com que, muito cedo, os sumidouros das residências ficassem cheios, e sem possibilidade de substituição. Em face disso tornou-se prática comum, aos moradores de conjuntos habitacionais, retirarem as águas servidas das fossas e sumidouros e direcioná-las para as sarjetas que passaram a ser o caminho natural dos esgotos.

Como consequência disso, comenta Monteiro (2004) que “Teresina tornou-se uma cidade onde as pessoas passaram a conviver com esgotos, que escorrem pelas sarjetas, ruas, fundos de quintais e terrenos, desaguando nos rios Parnaíba e Poti, diretamente ou através de lagoas ribeirinhas”.

O Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Estado do Piauí (CREA-PI) elaborou em 2002 a carta náutica dos rios Parnaíba e Poti na área metropolitana de Teresina (Figura 6), a qual identificou vinte e quatro pontos de lançamento de esgotos no rio Poti e dezessete no rio Parnaíba. Contudo, o crescimento desordenado da capital no decorrer do tempo, sem acompanhamento adequado do sistema de esgotamento sanitário, pode ter aumentado a quantidade de pontos de lançamentos de esgoto nestes mananciais. O que torna importante o constante monitoramento da qualidade das águas destes rios para melhor gerir os impactos do crescimento urbano no meio ambiente.

Figura 6- Identificação dos pontos de lançamento de esgoto nos rios Parnaíba e Poti na área metropolitana de Teresina



Fonte: Monteiro, 2004

Sobre as características mesopotâmicas de Teresina, Monteiro (2004) sugere cuidados importantes quanto aos seus rios, haja vista sua área urbana ser drenada por vários riachos e um sistema lagunar com várias lagoas de médio e pequeno porte, interligadas na zona norte da capital, o que proporciona o amortecimento das águas no período chuvoso.

Na área mesopotâmica, a uniformidade é interrompida pelo divisor de águas das bacias do Parnaíba e do Poti, portanto, em função do relevo e da hidrografia de Teresina são identificadas três macrobacias de esgotamento com a possibilidade de uso desses rios, como corpos receptores dos efluentes finais do esgoto sanitário da cidade. Esta condição indica a extrema vulnerabilidade desses recursos hídricos, pois historicamente a cobertura da rede coletora de esgoto sanitário, na zona urbana da cidade, é sempre bem menor que a real demanda por este serviço. Os rios, ao cruzarem esta região, tornam-se, inevitavelmente, os receptores dos esgotos produzidos na cidade, sejam efluentes tratados ou in natura (maior percentual). MONTEIRO (2004, p.3).

A baixa cobertura de tratamento de esgoto em Teresina, somada a uma insuficiente conscientização ambiental da população e poucos investimentos em ações preventivas da poluição dos seus corpos hídricos, chama atenção para a importância da realização do monitoramento da qualidade das águas de seus rios, como meio de subsidiar ações preventivas para controle da saúde dos recursos hídricos bem como da população.

Conforme Monteiro (2004), a inadequada política pública na área de saneamento e a redução na qualidade do tratamento proporcionará o aumento da poluição dos corpos receptores pelos efluentes domésticos, que poderia levar a não utilização dos rios Parnaíba e Poti para banhos, recreação e irrigação de frutas e legumes, por ocasionar maiores incidência de doenças de veiculação hídrica.

Com a necessidade de correção das deformidades do crescimento urbano sobre o meio ambiente teresinense, o governo municipal, no atendimento às exigências do Estatuto da Cidade estabeleceu, no ano de 2002, o Plano de Desenvolvimento Sustentável de Teresina, conhecido como Agenda 2015, instituído para contribuir com o processo de construção da Agenda 21 Brasileira. A qual revelou vários problemas ambientais decorrentes do acelerado crescimento urbano citando genericamente alguns exemplos de ocupação desordenada e inadequada do relevo/solo que provocam prejuízos aos recursos hídricos, tais como:

Aterramento parcial ou total de lagoas e construção de habitações nessas áreas; Ocupação com residências de diques marginais dos rios Poti e Parnaíba; Ocupação de áreas localizadas abaixo da cota de inundação periódica de rios e lagoas; Traçado de vias públicas sem levar em conta o tipo de chuvas concentradas (enxurradas), bem como a rede de drenagem efêmera, ignorando curvas e níveis, riachos e talvegues; Desmatamento de grandes áreas para loteamentos, principalmente em relevo íngreme, sem levar em conta a declividade, os fluxos de água e sedimentos e,

ainda, sem fazer obras adequadas de contenção da intensa erosão que se instala; Obras de drenagem das águas plúvio-fluviais, que não levam em consideração a rede natural de drenagem, provocando concentração de energia das águas em poucos pontos (nos bueiros; entre lagoas aterradas e os rios Poti e Parnaíba; nas encostas íngremes, etc.), tendo como consequência o aumento da erosão e o assoreamento dos rios, além do alto custo em obras “públicas” e transtornos para as pessoas. (PMT, 2002, p. 20)

Para Hespanhol (2006, p.302),

O conceito de saneamento básico deve evoluir para o conceito de saneamento ambiental, associando-se à política de recursos hídricos, com o objetivo básico de articular as ações das companhias estaduais de saneamento com os planos e programas dos comitês de bacias hidrográficas. Desvinculando-se de sua conotação atual de mero executor de obras públicas e integrar a função de sanear com o objetivo de preservação da qualidade ambiental.

A melhoria da qualidade das águas dos corpos receptores é indispensável em virtude do seu uso pela população para atividades de lazer, haja vista Teresina apresentar elevadas temperatura durante o ano, em virtude de suas características climáticas, o que estabelece natural atração pela prática de esportes aquáticos e recreação de contato primário com o rio (MONTEIRO, 2004).

4 METODOLOGIA

A realização desta pesquisa ocorreu em diferentes fases, tais como levantamento bibliográfico e documental referente à bacia do rio Poti, junto à Agência Nacional de Águas (ANA), ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e à Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR).

O levantamento de informações referentes ao crescimento urbano de Teresina foi realizado junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e à Prefeitura Municipal de Teresina através da Secretaria de Planejamento do Município.

Para traçar o perfil de precipitação da cidade de Teresina, realizou-se um levantamento de dados históricos dos últimos trinta anos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cuja estação meteorológica é monitorada pela EMBRAPA Meio Norte, bem como através da estação meteorológica Poticabana, monitorada pela SEMAR-PI. Ambas estão localizadas próximas ao curso do rio Poti na capital.

Como a disponibilidade hídrica ou a vazão de um rio depende da variabilidade temporal expressa por várias funções hidrológicas, a curva de permanência permite avaliar as características da bacia em relação ao regime de vazões do rio, tornando-se útil para análises de qualidade da água (CRUZ; TUCCI, 2008).

Para tanto, nesta pesquisa optou-se analisar a variabilidade sazonal da vazão do rio Poti a partir da elaboração da curva de permanência, por ser uma das funções estatísticas hidrológicas mais utilizadas para avaliação da disponibilidade hídrica e por melhor relacionar a probabilidade de que uma vazão seja maior ou igual durante o ano ou do período da série (TUCCI, 2006), além de sintetizar a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos (CRUZ; TUCCI, 2008).

Em hidrologia, a curva de permanência é muito usada para ilustrar o padrão de variação de vazões, assim como o é para indicadores de qualidade da água, tais como turbidez de um trecho fluvial, dureza da água e concentrações de sedimento em suspensão, entre outros. Em particular, é frequente o emprego da curva de permanência de vazões para o planejamento e projeto de sistemas de recursos hídricos e, também, como instrumento de outorga de direito de uso da água em alguns estados brasileiros. (NAGUETINNI e PINTO, 2007, p.67).

Euclides (1992) relata que não se pode definir a distribuição de probabilidades para descrever a frequência de vazões, mas selecionar uma família de curvas indicadas ao tipo de dados analisados, em seguida, individualizar a lei de probabilidade que mais se adapta a interpretar cada série histórica disponível.

No Brasil, a ideia de considerar o aspecto da sazonalidade do regime hidrológico, através da estimativa de uma curva de permanência para cada mês do ano, já foi sugerida por vários pesquisadores para estudos relativos a critérios de outorga, os quais comprovaram, através de simulações, que a estratégia sazonal obteve melhores resultados que a utilização de um único valor anual (CRUZ; TUCCI, 2008).

Diante disso, esta pesquisa utilizou-se de dados diários de vazão e precipitação, obtidos junto a ANA através do sistema Hidroweb, bem como junto à CPRM, empresa que realiza o monitoramento das estações fluviométricas e pluviométricas localizadas na área da bacia do rio Poti (Quadros 2 e 3). O Mapa 7 ilustra a localização destas estações na Bacia Hidrográfica do rio Poti.

Quadro 2- Localização das estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do rio Poti

Estação	Código	Nome da Estação	Município	Empresa	Latitude	Longitude
01	34741000	Saudoso	Poranga- CE	CPRM	-04:36:40	-041:06:39
02	34750000	Fazenda Boa Esperança	Castelo do Piauí	CPRM	-05:13:29	-041:44:13
03	34620000	Passagem Franca II	Passagem Franca	CPRM	-05:51:30	-042:26:07
04	34770000	Prata do Piauí	Prata do Piauí	CPRM	-05:39:59	-042:12:20
05	34789000	Fazenda Cantinho II	Teresina	CPRM	-05:12:09	-042:41:48

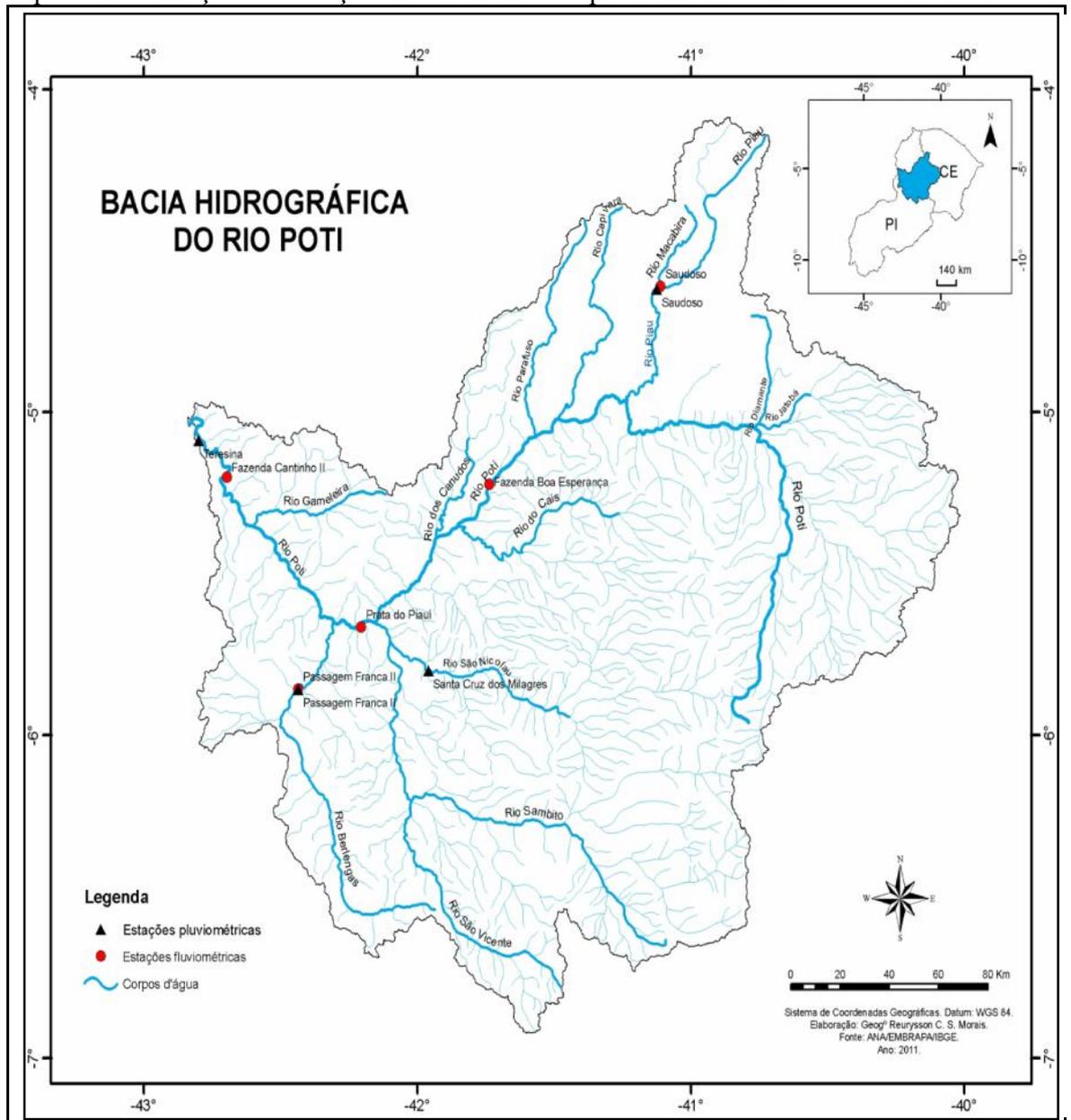
Fonte: ANA, widroweb

Quadro 3- Localização das estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do rio Poti

Estação	Código	Nome da Estação	Município	Empresa	Latitude	Longitude
01	441014	Saudoso	Poranga- CE	CPRM	-04°37'07''	-041°07'30''
02	541002	Fazenda Boa Esperança	Castelo do Piauí	CPRM	-05°13'29''	-041°44'13''
03	542023	Passagem Franca II	Passagem Franca	CPRM	-05°51'30''	-042°26'07''
04	542008	Prata do Piauí	Prata do Piauí	CPRM	-05:51:30''	-042:26:07''
05	541014	Santa Cruz dos Milagres	Santa Cruz dos Milagres	CPRM	-05°48'01''	-041°57'34''
06	A312	Teresina	Teresina	INMET	-05°05'00''	-042°49'00''

Fonte: ANA, widroweb

Mapa 7- Localização das estações fluviométricas e pluviométricas na bacia do rio Poti



Elaboração: Reurysson Chagas de Sousa Morais, 2011

Para cada estação estudada foi elaborada uma curva de permanência, com a finalidade de analisar a porcentagem de tempo que a vazão foi igualada ou superada durante o período analisado. Embora seja considerado para essa pesquisa dados dos últimos trinta anos, ressalva-se haver estações com instalação posterior a esse período.

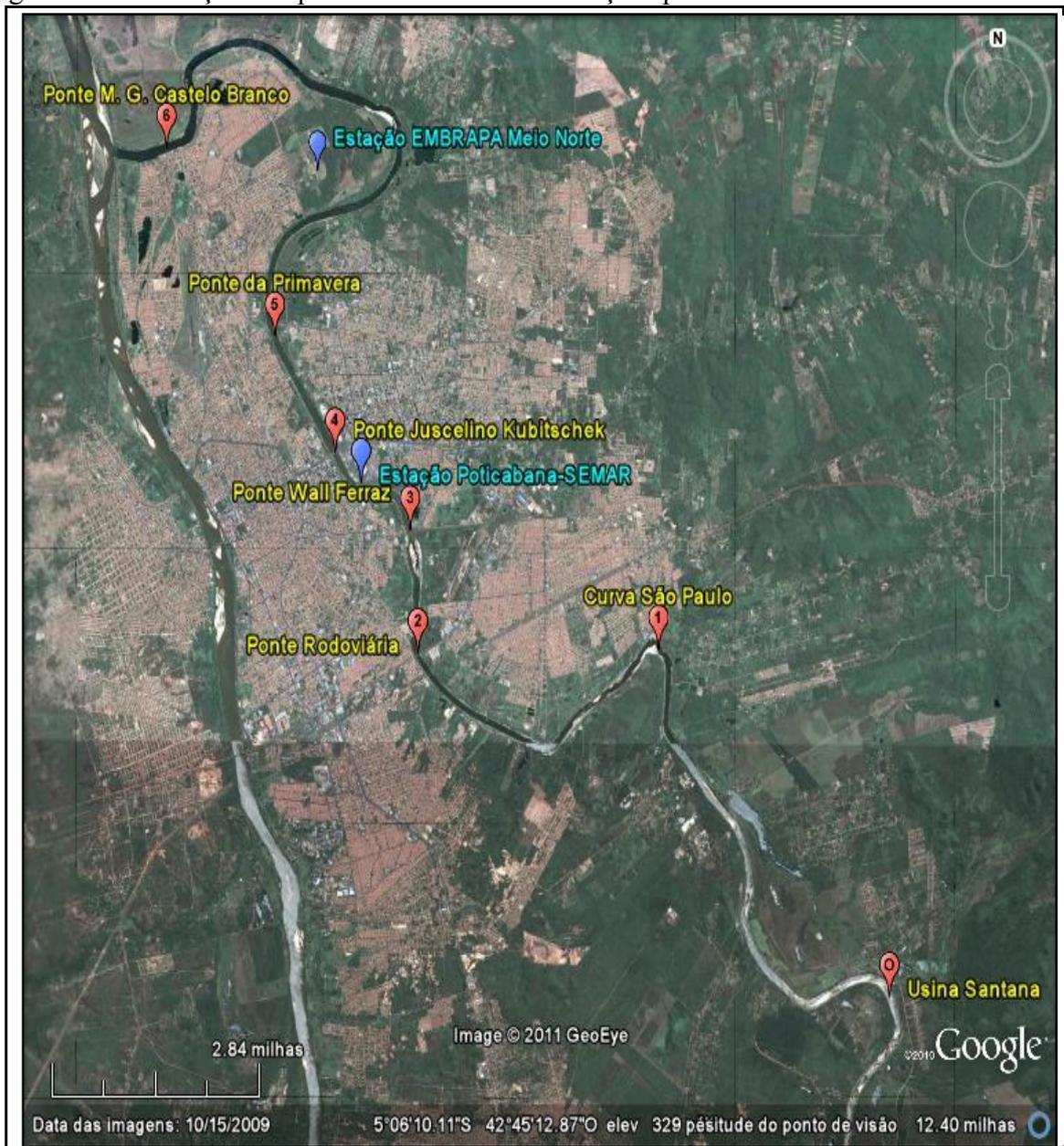
Para o monitoramento da qualidade da água do rio Poti, foram definidos sete pontos de coleta (Quadro 4) distribuídos ao longo de 35 km, compreendendo parte das zonas rural e urbana de Teresina, levando-se em consideração a acessibilidade a estes pontos, bem como para efeito de comparação da qualidade da água no meio rural e urbano (Figura 7).

Quadro 4 – Pontos de amostragem no rio Poti

Ponto	Nome	Latitude	Longitude
P-0	Usina Santana	-5°10'12,55"	-42°40'59.44"
P-1	Curva São Paulo	-5° 6'44.88"	-42°43'52.97"
P-2	Ponte Rodoviária	-5° 6'53.28"	-42°46'41.97"
P-3	Ponte Wall Ferraz	-5° 5'40.77"	-42°46'49.06"
P-4	Ponte Juscelino Kubitschek	-5° 4'57.23"	-42°47'41.23"
P-5	Ponte da Primavera	-5° 3'49.41"	-42°48'25.36"
P-6	Ponte M. G. Castelo Branco	-5° 2'0.94"	-42°49'44.02"

Fonte: pesquisa direta

Figura 7- Localização dos pontos monitorados e estações pluviométricas



Fonte: Google Earth, 2009

Para determinar a qualidade da água do rio Poti foi realizada coleta simples a 25 cm da superfície, com periodicidade mensal, o monitoramento de dez parâmetros de qualidade que juntos compõem o Índice de Qualidade das Águas - IQA (CETESB, 2008), sendo eles: pH; oxigênio dissolvido (OD) mg/L; condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$); temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$); nitrato (mg/L); fosfato (mg/L); coliformes termotolerantes (NMP/100mL); demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5/20}$) mg/L; turbidez (NTU) e sólidos totais (mg/L). Todas as determinações analíticas foram realizadas de acordo com os procedimentos estabelecidos no Standard Methods (APHA, 2005).

Nesta pesquisa, optou-se pela utilização do IQA Produtório, por ser considerado uma ferramenta mais fidedigna para avaliação das águas naturais, utilizando-se da seguinte equação:

$$IQA_{\text{Produtório}} = \prod_{i=1}^{i=8} q_i^{w_i} = (q^{w_i})_{\text{pH}} \cdot (q^{w_i})_{\text{CT}} \cdot (q^{w_i})_{\text{Turbidez}} \cdot (q^{w_i})_{\text{DBO}} \cdot (q^{w_i})_{\text{OD}} \cdot (q^{w_i})_{\text{Sólidos}} \cdot (q^{w_i})_{\text{Nitrato}} \cdot (q^{w_i})_{\text{Fosfato}} \quad (1)$$

onde:

q_i : nota de qualidade do parâmetro

w_i : peso relativo do parâmetro de qualidade.

O Quadro 5 apresenta os pesos relativos dos parâmetros proposto ao IQA pela CETESB (2008) utilizados nesta pesquisa, que distribuiu o peso relativo referente à temperatura aos demais parâmetros. As notas de qualidade de cada parâmetro foram estabelecidas através das curvas de variação que relacionam seu respectivo valor a uma nota que varia de 0 a 100, obtidas com auxílio do sitio Water Quality Index: <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>. A classificação da qualidade da água segundo os valores do IQA é apresentada no Quadro 6.

Quadro 5 – Parâmetros de qualidade e seus pesos relativos.

Parâmetros	Pesos Relativos (wi)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,19
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	0,17
pH	0,13
$\text{DBO}_{5,20}$ (mg/L)	0,11
Fosfato Total (mg/L)	0,11
Nitrato (mg/L)	0,11
Turbidez (NTU)	0,09
Sólidos Totais (mg/L)	0,09

Fonte: CETESB (2008)

Quadro 6 – Classificação do IQA

Faixas de IQA	Classificação da qualidade da água
0 – 25	Muito Ruim
26 – 50	Ruim
51 – 70	Regular
71 – 90	Bom
91 – 100	Excelente

Fonte: CETESB (2008)

Os limites dos padrões de potabilidade dos parâmetros usados para medir o IQA desta pesquisa (Quadro 7), foram estabelecidos conforme a Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) para classe 2.

Quadro 7 - Limites dos parâmetros de qualidade da água para classe 2

Parâmetros de Qualidade da água	Limites
pH	6 a 9
DBO 5 a 20°C (mg/L)	até 5
OD (mg/L)	Não inferior a 5
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500
Coliformes Termotolerantes /100 ml	1000
Fosfato Total (mg/L)	0,025
Nitrato (mg/L)	10
Turbidez UNT	100

Fonte: BRASIL (2005)

As campanhas de coleta foram realizadas no período compreendido entre abril de 2009 a Setembro de 2011. As amostras coletadas foram armazenadas em sacos plásticos esterilizados de 100 ml e galões de 5 litros, transportadas em caixa de isopor com gelo até o Laboratório de Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí em Teresina.

Os valores de pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido, foram medidos *in loco*, com o uso do pHmetro, marca WTW, modelo 330i e do oxímetro portátil da marca HANNA, modelo HI 9146. A determinação da turbidez foi realizada em laboratório com o auxílio de um turbidímetro portátil da marca ALPHAKIT.

A condutividade elétrica e a concentração de Oxigênio inicial e final para quantificação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias a 20°C) foi realizada com o uso do medidor Multiparâmetro de Bancada, marca WTW, modelo Multi 720. A determinação da

concentração de Nitrato, Fosfato e Sólidos Totais seguiu as diretrizes do Standard Methods (APHA, 2005).

Para a determinação de coliformes termotolerantes utilizou-se o método cromogênico (tecnologia do substrato definido), utilizando-se substrato Colilert (APHA, 2005), com a utilização de cartelas contendo 97 células (IDEXX Quanti-Tray/2000), que permitem a contagem de coliformes na faixa de 1 a 2.419. Após o selamento, as cartelas eram incubadas a 35° C (\pm 5°C) por um período de 24 horas. A leitura dos coliformes termotolerantes foi feita com uso de luz ultravioleta, onde são consideradas positivas as células das cartelas que apresentam coloração amarela/fluorescente.

Para correlacionar o IQA com a vazão do rio Poti em Teresina utilizou-se exclusivamente os dados da estação Fazenda Cantinho II, por ela estar localizada a cinco quilômetros do Ponto P-0 de monitoramento na usina Santana, estando, portanto mais próxima do campo de estudo e assim melhor correlacionar com os objetivos da pesquisa. Devido à indisponibilidade dos dados de vazão consistidos do período de 2009 a 2010 pela CPRM, da estação Fazenda Cantinho II, estes dados foram obtidos a partir de equação (Equação 2) gerada pela curva chave (Figura 8) elaborada através da correlação das cotas brutas com as vazões brutas das séries históricas anteriores.

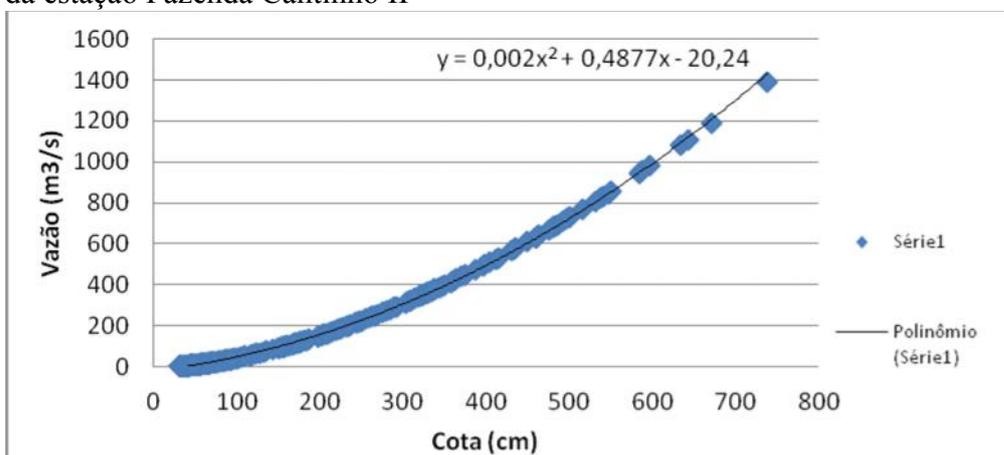
$$y = 0,002x^2 + 0,4877x - 20,24 \quad (2)$$

onde:

y: é a vazão

x: cota bruta

Figura 8- Curva chave elaborada da correlação cota/vazão (de julho de 1990 a março de 2007) da estação Fazenda Cantinho II



Elaboração: Livânia N. de Oliveira, 2011

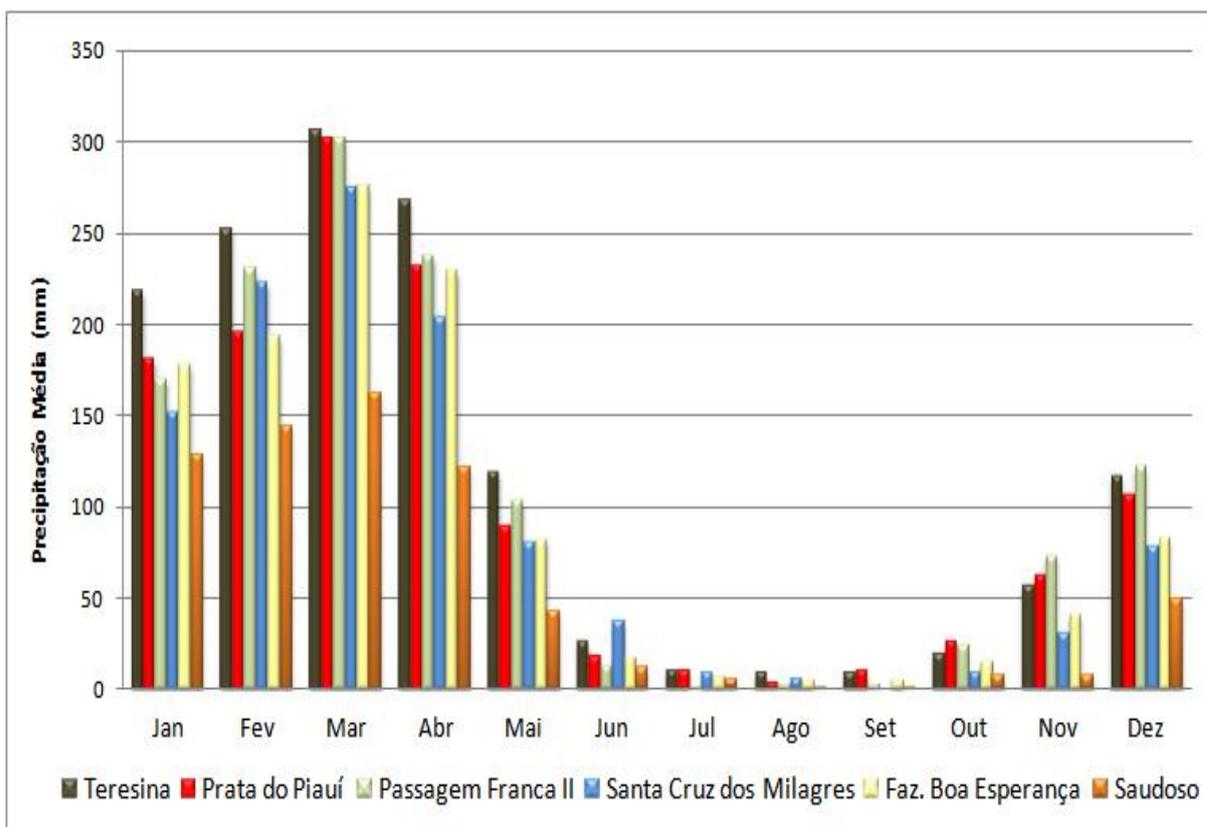
Considerando as atividades que promovem o contato primário com a água, identificou-se o lazer, pesca e extração mineral como os usos preponderantes da área de estudo na avaliação das implicações da variabilidade da vazão e da qualidade da água do rio Poti para a população de Teresina.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 A variabilidade da vazão do rio Poti em Teresina

Segundo a classificação de Köppen o clima predominante na área da bacia do rio Poti é do tipo tropical quente e úmido (Aw) caracterizado por possuir o verão chuvoso e o inverno seco, com um regime irregular de chuvas (SEMAR, 2004). A partir de dados pluviométricos disponibilizados pela CPRM de seis estações pluviométricas ativas localizadas na área da bacia (Mapa 7), constatou-se que a bacia recebe uma média anual de precipitação na ordem de 1.076 mm, havendo significativa sazonalidade da distribuição das chuvas durante o ano (Gráfico 2), com o trimestre fevereiro-março-abril concentrando o maior volume de chuva e o trimestre julho-agosto-setembro caracterizado como o mais seco, em todas as estações analisada. As estações Teresina, Prata do Piauí e Passagem Franca II, localizadas no baixo curso da bacia, apresentaram os melhores resultados de precipitação, fator significativo para aumento do volume da vazão do rio nestes locais.

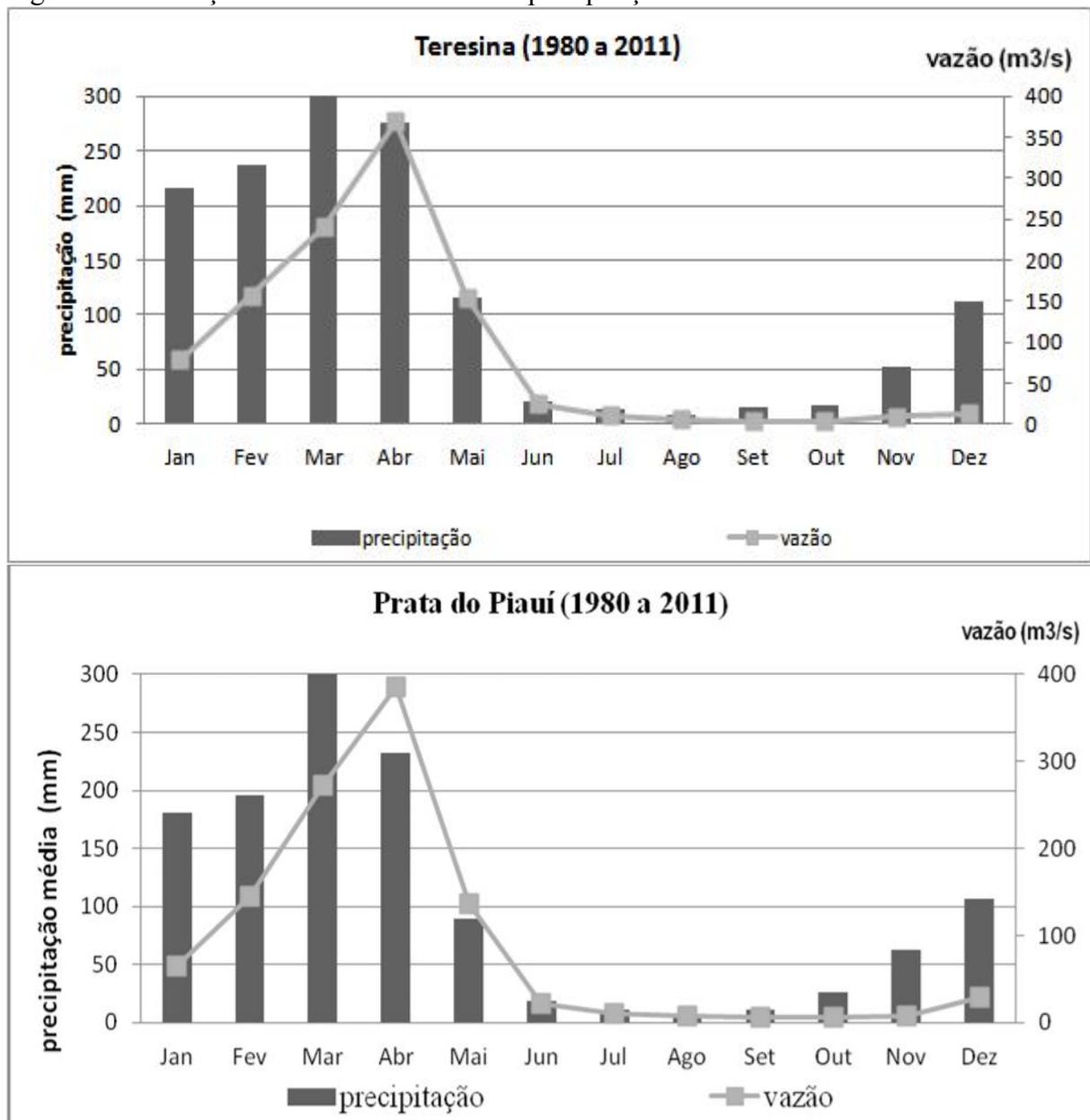
Gráfico 2- Variabilidade sazonal da precipitação média na bacia do Poti (1980-2011)



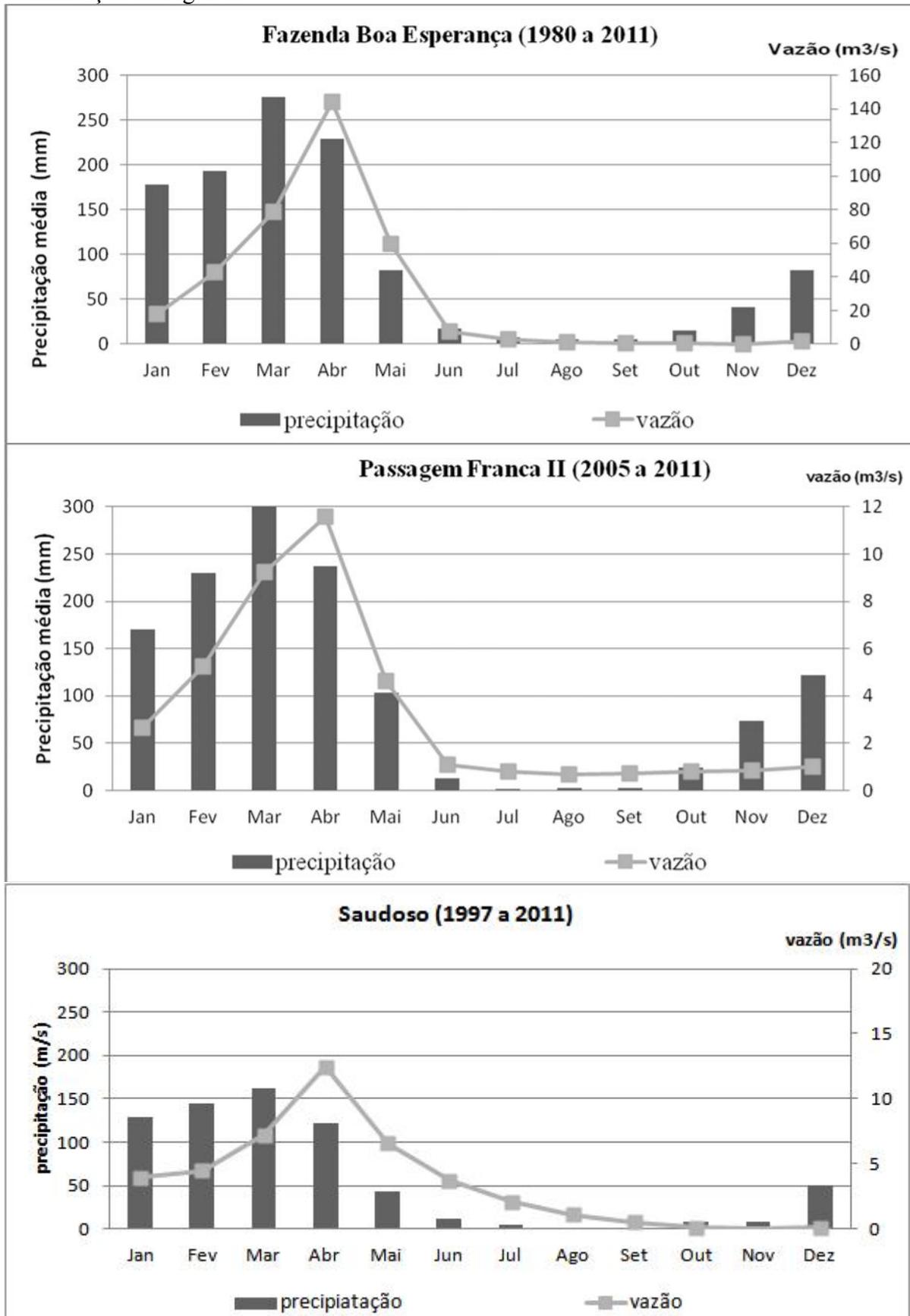
Elaboração: Livânia N. de Oliveira, 2011

Segundo Shil'Krot e Yasinskii (2002), as variações sazonais de precipitação possuem forte influência no regime de vazão de um rio. Frente a essa condição, ao correlacionar as médias sazonais de precipitação com o volume de vazão do rio Poti, a partir dos dados disponíveis das estações localizadas na área da bacia (Figura 9), observou-se para todas as estações o mês de março como o de maior total de precipitação, ocasionando o maior volume de vazão no mês de abril. Estando a diminuição da vazão do rio Poti diretamente correlacionada à redução das chuvas na bacia, a qual alcançou os menores resultados de precipitação e vazão entre os meses de julho a outubro, quando do período de estiagem.

Figura 9- Correlação das médias sazonais de precipitação e vazão na Bacia do rio Poti



Continuação da Figura 9:



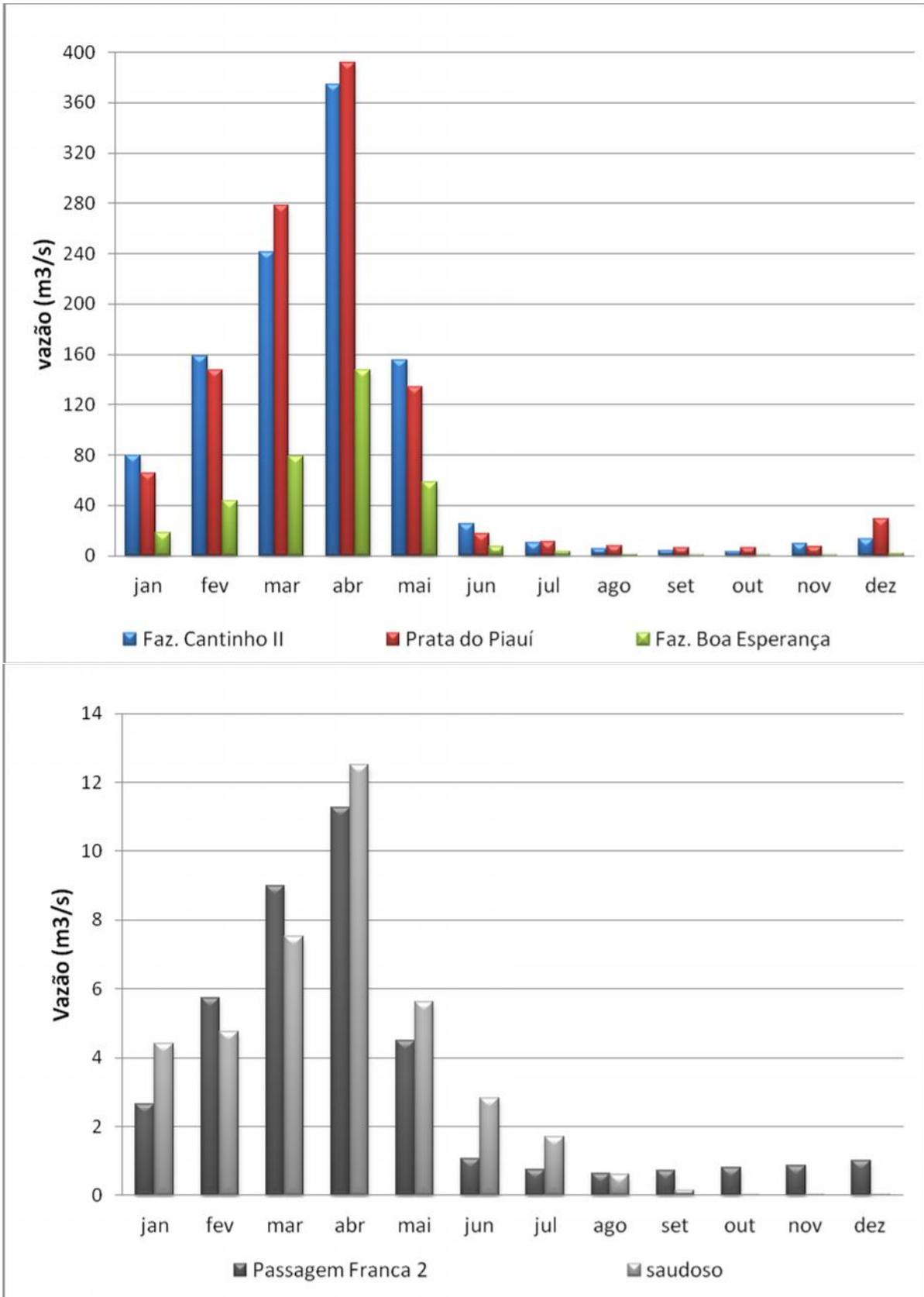
Elaboração: Livânia N. de Oliveira (2011)

As tendências mensais de vazão para todas as estações analisadas demonstraram que as estações Fazenda Cantinho II localizada em Teresina e Prata do Piauí apresentaram os maiores volumes médios de vazão em contraste às demais estações, as quais registraram volumes médios de 311,5 m³/s e 385 m³/s respectivamente no mês de maio. Esta situação está associada à localização destas estações em terreno sedimentar e no baixo curso da bacia, onde recebem as descargas líquidas à montante de importantes tributários como os rios Berlengas, Sambito e São Nicolau.

As estações Passagem Franca II e Saudoso registraram os menores volumes médios de vazão na maior frequência de tempo, na ordem de 12 m³/s em ambas, pelo fato dessas estações estarem fixadas próximas a importantes tributários do rio Poti, cujos leitos são abastecidos unicamente pela ocorrência de chuvas. Em contraste com o que ocorre com a estação Fazenda Boa Esperança em Castelo do Piauí, que recebe contribuição de importantes tributários como o rio Piau, Capivara e Parafuso, proporcionando a esta estação maior volume médio de vazão na ordem de 150 m³/s. observa-se também que a estação Saudoso registrou menor volume médio de chuva em contraste às demais estações, em decorrência de sua localização em área de clima semi-árido caracterizado por apresentar baixas precipitações.

A determinação da vazão média em uma bacia é importante por representar a disponibilidade hídrica máxima de um manancial, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água para diferentes finalidades, além de apresentar excelente correlação com a área da bacia (TUCCI, 2006). Diante disto, ao analisar as médias mensais de vazões a partir das estações fluviométricas existente na bacia, verificou-se que o maior volume da vazão encontra-se entre os meses de fevereiro a maio (Gráfico 3), em decorrência das características climáticas da bacia, havendo determinada homogeneização do regime de vazão do rio Poti na bacia, pois as descargas líquidas ocorridas no alto e médio curso do rio ao mesmo tempo influencia no fluxo da vazão em seu baixo curso, mesmo este possuindo parte do seu leito principal intermitente.

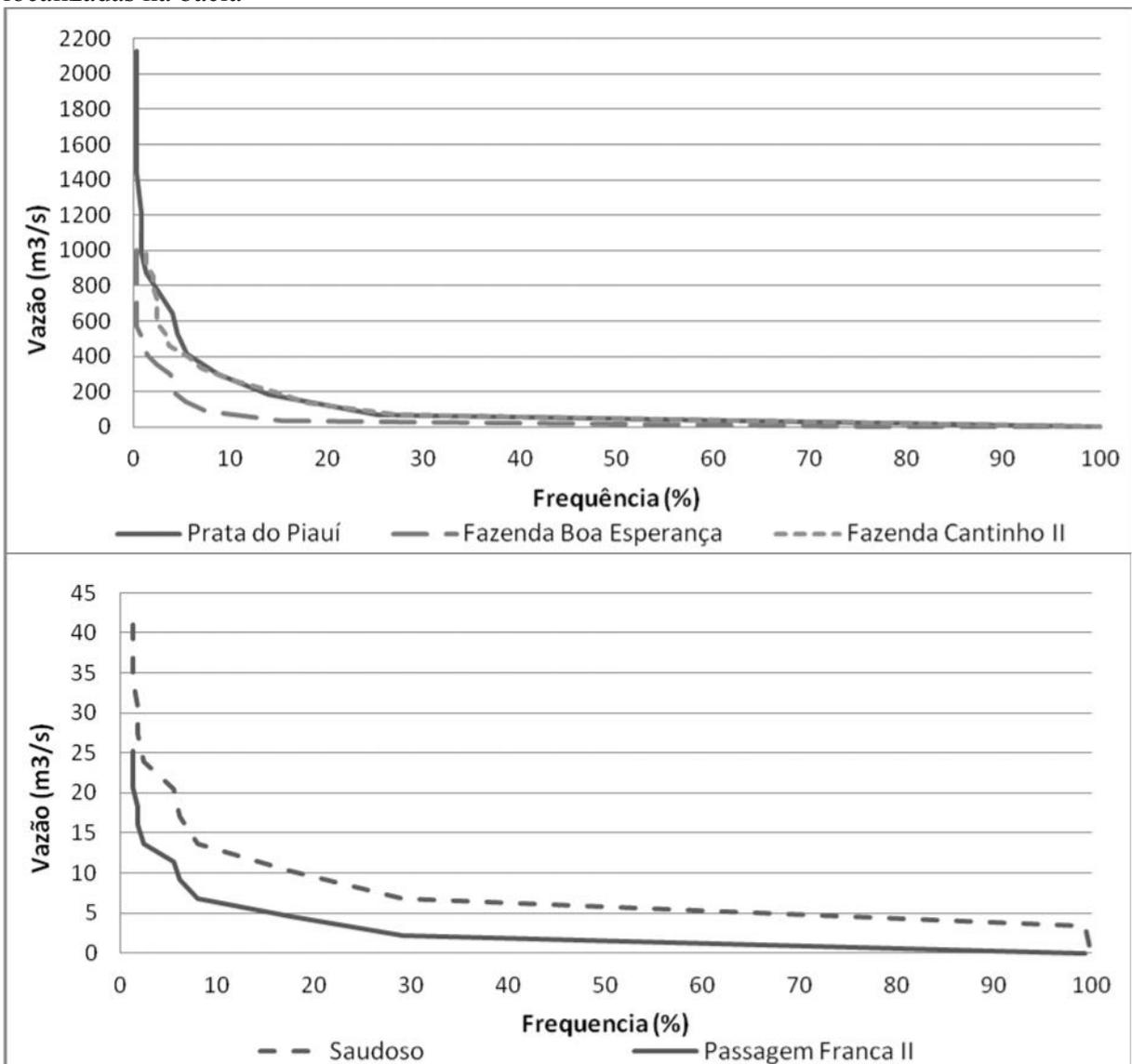
Gráfico 3- Correlação das estações fluviométricas da bacia do rio Poti



Elaboração: Livânia N. de Oliveira, 2011

Como a disponibilidade hídrica de um rio depende da variabilidade temporal expressa por várias funções hidrológicas, a curva de permanência representa uma forma de expressão da magnitude e frequência das vazões do rio durante um histórico registrado em dada seção fluvial (CRUZ; TUCCI, 2008; PINHEIRO; NAGHETTINI, 2010). Para tanto, foram elaboradas curvas de permanência da vazão do rio Poti a partir dos dados fluviométricos das estações localizadas na área da bacia (Figura 10) para melhor interpretação do seu regime de vazão. Observou-se que todas as estações apresentaram na maior frequência de tempo baixos volumes de vazão em decorrência tanto da irregularidade das chuvas na bacia, como pela intermitência existente no alto e médio curso do rio.

Figura 10- Curvas de permanência da vazão do rio Poti a partir das estações fluviométricas localizadas na bacia



Elaboração: Livânia N. de Oliveira, 2011

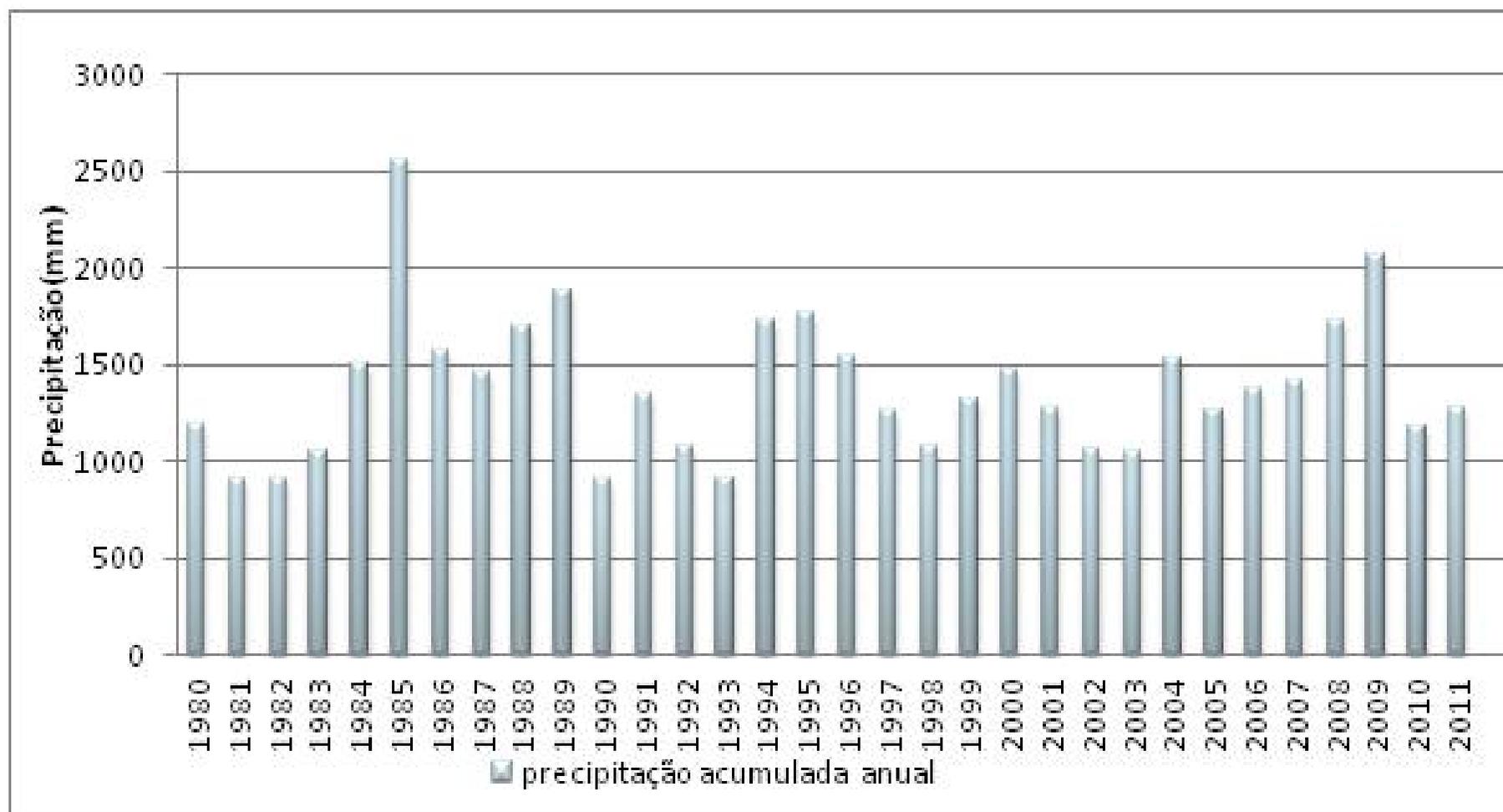
Observa-se nas curvas de permanência que durante o período analisado houve em menos de 20% do tempo um volume elevado da vazão nas estações Fazenda Boa Esperança, Prata do Piauí e Fazenda Cantinho II, em decorrência do baixo volume de chuva existente na bacia, o que proporcionou em aproximadamente 80% do tempo um reduzido volume de vazão. Situação observada também nas estações Saudoso e Passagem Franca II, que em decorrência tanto da intermitência do rio na porção onde estas estações se localizam, como do baixo volume de chuva, ambas apresentaram em quase 60% do tempo volume de vazão próximo a zero.

A baixa disponibilidade hídrica do rio Poti por um longo período de tempo diminuiu sua capacidade de assimilar a poluição adicionada, sobretudo nas áreas urbanas, resultando em graves problemas de qualidade da água. Para tanto, Pionke (1999) sugere que sejam feitas análises sazonais da vazão de um rio, como forma de fazer simulações, bem como elaborar estratégias de recuperação e controle da exportação de nutrientes proveniente das ações antrópicas existentes nas bacias hidrográficas.

A análise da série pluviométrica para Teresina, referente ao período 1980 a outubro de 2011 (Gráfico 4) foi realizada a partir da estação agrometeorológica da Embrapa Meio Norte, constatando-se que a precipitação média anual ficou na ordem de 1.385,70 mm, apresentando os anos de 1985 e 2009 precipitação acumulada acima do total médio observado atualmente, com 2.561,70 mm e 2.067,30 mm respectivamente. Em contraste com o ano de 1993, que apresentou o menor volume de precipitação do período pesquisado, um volume de 903,60 mm.

As enchentes ocorridas no Estado do Piauí em 2009 alcançaram magnitude muito elevada com trágicas consequências para as populações residentes nas áreas ribeirinhas, em comparação a enchente de 1985, muito embora a localização da população e que está impróprias, o que aumenta a vulnerabilidade social na cidade.

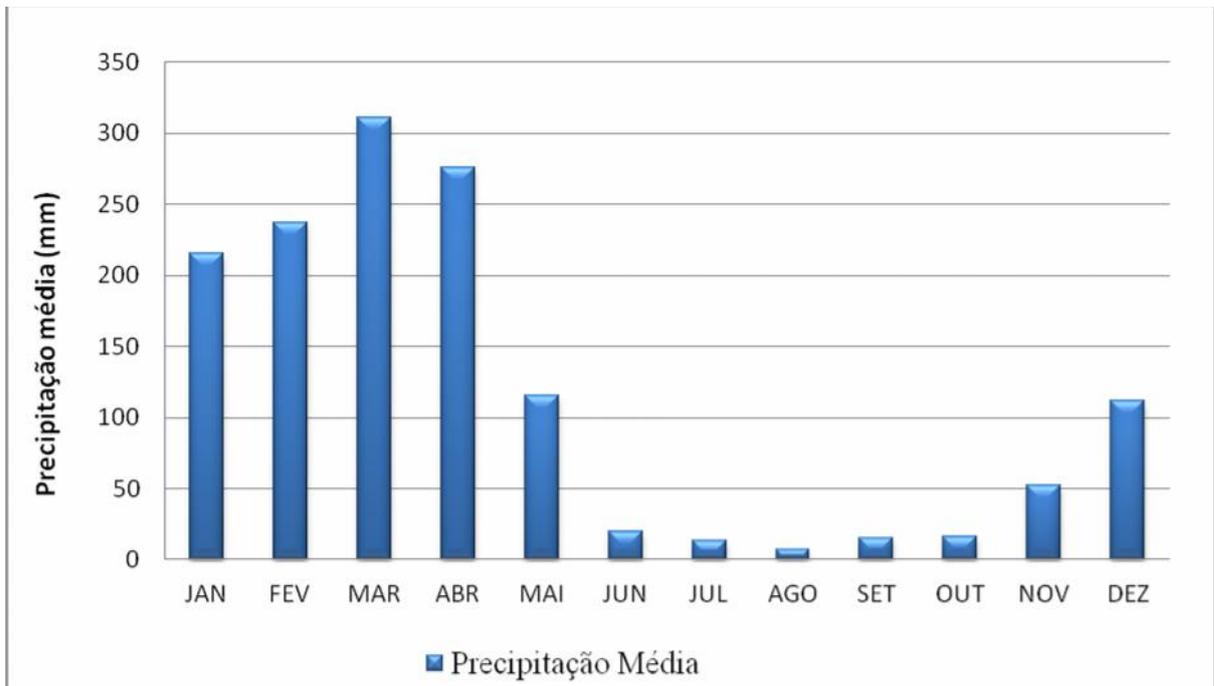
Gráfico 4- Total anual de precipitação em série histórica de 1980 a 2011.



Fonte: Estação Agrometeorológica da Embrapa Meio Norte, 2010

A análise da série histórica de precipitação em Teresina de 1980 a 2011(Gráfico 5) demonstra também que o volume de chuva tende a ser mais intenso entre os meses de janeiro a abril, com o maior total de precipitação no mês de março, quando apresentou média de 311,5 mm. Em contraste com os meses de junho a outubro, quando se concentraram os menores volumes de chuva. Esta sazonalidade está associada ao tipo climático existente na cidade, caracterizado como quente e úmido, com chuvas de verão/outono, como resultado dos deslocamentos sazonais da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), definida pelo encontro das Massas de ar Norte (oriunda dos Açores) e Equatorial Continental (que se forma sobre a Amazônia), ocasionando uma estação chuvosa de janeiro a maio e uma estação seca de agosto a outubro (SEMAR, 2010).

Gráfico 5- Média sazonal de precipitação em Teresina (1980 a 2011)



Fonte: Estação Agrometeorológica da Embrapa Meio Norte, 2011

Conforme Andrade (2000, p.68):

O espaço de Teresina está até o início do outono influenciado pela convergência Intertropical, que nesse momento atinge sua posição meridional máxima, produzindo chuvas na região afetada. Já na primavera, a convergência Intertropical encontra-se numa maior posição setentrional e o espaço teresinense consequentemente dominado pela massa, que já chega nessa região bastante enfraquecida em relação às suas características, principalmente de umidade e pressão, portanto, pouca ou quase nenhuma chuva.

Conforme observado na curva de permanência da estação Fazenda Cantinho II (Figura 10, ver na página 78), o rio Poti em Teresina apresenta em aproximadamente 85% da frequência do tempo um baixo volume da vazão. Situação existente tanto pelo longo período de estiagem existente na cidade, como pelo fato do rio já se encontrar a poucos quilômetros de sua foz, onde suas águas são barradas pelo rio Parnaíba, que possui o nível do seu leito mais alto que o do rio Poti, deixando-o praticamente estacionado, proporcionando a concentração de poluentes no rio, haja vista existir no núcleo urbano de Teresina um constante lançamento de esgoto doméstico na sua rede de drenagem, deixando-os suscetíveis a frequentes eutrofizações (Fotografia 1).

Fotografia 1- Rio Poti eutrofizado



Fonte: SOUSA; TORRES e OLIVEIRA, 2008

5.2 Monitoramento da qualidade da água do rio Poti em Teresina

Os resultados do monitoramento da qualidade da água do rio Poti em Teresina obtidos em laboratório podem ser verificados na Tabela 1, onde são apresentados os valores médios das variáveis de qualidade da água do rio no período pesquisado.

Tabela 1 – Valores médios dos parâmetros de qualidade

Parâmetros	Unidades	P-0	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Temperatura	°C	28,9	30,0	30,2	30,3	30,5	30,8	30,9
pH		7,6	7,7	7,9	7,7	7,8	7,8	7,8
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	197	193	1273	764	965	5483	1381
Turbidez	UNT	69	66	69	74	69	64	60
DBO	mg/L	0,8	0,9	1,5	1,4	1,5	2,1	2,3
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,0	6,1	6,0	6,3	6,0	5,7	6,3
Condutividade	µS/cm	186	188	193	200	203	208	208
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	202	188	187	183	188	170	167
Nitrato	mg/L	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6
Fosfato	mg/L	0,08	0,07	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10

Fonte: Pesquisa direta 2009-2011.

Considerando que o rio Poti não foi submetido a um processo de enquadramento de classificação adotou-se os requisitos de qualidade para águas da classe 2 conforme determinado pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Constata-se que os resultados dos valores médios dos parâmetros encontram-se em consonância com os padrões estabelecidos para essa classe, com exceção dos coliformes termotolerantes, que apresentaram concentração acima do limite máximo permitido (1000 NMP/100 mL) nos pontos P-2, P-5 e P-6.

A presença de coliformes fecais na água é um indicativo do lançamento de esgotos sanitários sem tratamento, apresentando um risco potencial à presença de organismos patogênicos com forte consequência à saúde pública. A Fotografia 2 e 3 demonstram a rede de drenagem pluvial no rio Poti a montante do ponto P-5 nas margens direita esquerda, sendo observado que mesmo no período de estiagem há presença de escoamento nesta rede, sugerindo o lançamento clandestino de esgoto em vias públicas, o que resultou nos piores resultados para coliformes termotolerantes neste ponto.

Fotografia 2- Lançamento de esgoto na rede de drenagem a montante do P-5 na margem direita do rio Poti



Fonte: Livia N de Oliveira, 2011

Fotografia 3- Lançamento de esgoto na rede de drenagem a montante do P-5 na margem esquerda do rio Poti



Fonte: Livia N de Oliveira, 2011

Verifica-se ainda na Tabela 1 que os valores médios de temperatura em todos os pontos monitorados foi um parâmetro em desacordo para classe 2 (BRASIL, 2005), entretanto esse nível de temperatura está associada às condições climáticas locais, não estando associada às atividades antrópica, como no caso dos coliformes termotolerantes.

Constata-se que no período analisado o oxigênio dissolvido apresentou resultados abaixo do limite determinado para classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) nos meses de estiagem em decorrência da maior presença de matéria orgânica no rio advinda do esgoto doméstico sem tratamento. Situação que também favoreceu a presença de fosfato acima do limite determinado para essa classe, circunstância que favorece o desenvolvimento de algas e conseqüentemente a eutrofização do rio. Contudo os parâmetros: DBO, sólidos totais dissolvidos, pH e nitrato apresentaram em toda a pesquisa conformidade para classe 2 (APÊNDICE A).

A avaliação da qualidade da água realizada através da associação dos diversos parâmetros é apresentada pelos valores do IQA para cada ponto monitorado na Tabela 2. Onde se verifica determinada tendência na diminuição da qualidade da água conforme o rio Poti adentra no núcleo urbano de Teresina, entre pontos P-2 e P-6 que estão associados à maior concentração urbana, em contraste com os pontos P-0 e P-1 localizados em área de menor concentração demográfica. Há, portanto tendência na redução da qualidade da água do rio à medida que este vai se aproximando da foz.

Outro fator observado na Tabela 2 é a tendência da diminuição da qualidade da água no decorrer do monitoramento, em decorrência das condições de precipitação em Teresina. Verifica-se que no ano de 2009 quando ocorreu maior volume de chuva, o IQA apresentou classificação entre Bom e Regular na maior frequência do monitoramento, com exceção dos pontos P-5 e P-6, classificados entre Regular e Ruim, por haver maior lançamento de esgoto na rede de drenagem nas proximidades destes pontos. Em contraste com os anos de 2010 e 2011, quando houve um menor volume de chuva na cidade (Gráfico 3), o IQA apresentou predominância de classificação Regular e Ruim, com exceção dos pontos P-0 e P-1 localizados em áreas menos urbanizadas da cidade os quais apresentaram predominância de classificação Bom e Regular.

Tabela 2 - Valores do IQA para cada ponto monitorado

Bom
Regular
Ruim
Classificação:

Data	IQA						
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
18/04/2009	57	58	54	54	55	51	55
30/05/2009	60	53	53	56	59	60	50
07/06/2009	68	66	69	58	65	61	62
04/07/2009	83	82	74	72	69	54	60
01/08/2009	82	82	71	72	69	65	68
05/09/2009	82	82	66	76	76	48	70
03/10/2009	88	87	70	80	78	62	70
07/11/2009	87	86	67	72	60	50	68
11/12/2009	82	86	65	72	72	62	67
23/01/2010	70	76	64	65	64	63	76
06/02/2010	73	76	60	58	65	49	66
20/03/2010	57	58	47	42	51	51	60
24/04/2010	59	56	51	57	54	49	47
22/05/2010	77	82	68	67	75	58	71
19/06/2010	82	77	63	66	66	54	69
10/07/2010	82	85	77	80	76	66	73
14/08/2010	81	83	77	70	69	62	67
24/09/2010	83	86	78	68	64	61	50
08/10/2010	84	86	62	52	54	42	46
18/11/2010	63	73	44	51	46	50	59
10/12/2010	43	52	43	43	43	44	50
06/01/2011	69	74	52	61	65	65	76
14/02/2011	61	57	53	53	48	50	46
22/03/2011	56	52	56	54	53	51	50
15/04/2011	50	52	52	49	50	48	45
27/05/2011	53	62	61	57	57	47	49
28/06/2011	72	72	66	60	54	48	54
20/07/2011	74	73	66	69	64	53	61
12/08/2011	75	69	57	61	37	52	51
14/09/2011	73	65	60	61	60	53	59

Fonte: Pesquisa direta 2009-2011.

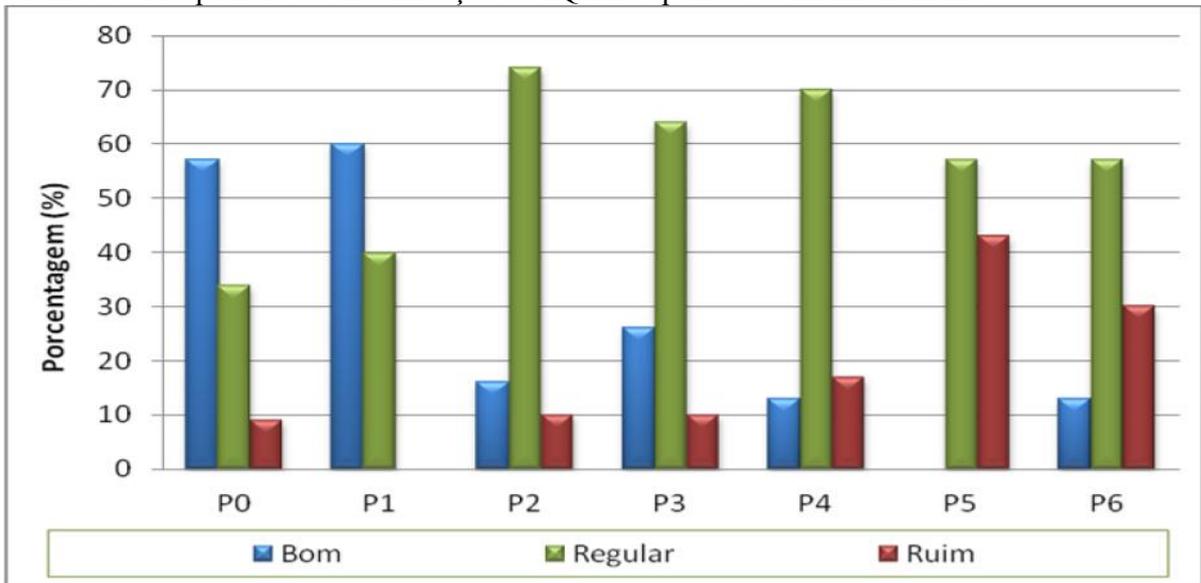
As condições de classificação Ruim do IQA para o rio Poti estão ao mesmo tempo associadas ao período de estiagem, de setembro a dezembro, quando diminui consideravelmente a vazão do rio em Teresina, conforme demonstrado na curva de permanência da página 78. Assim como nos meses de maior precipitação, de março a maio, quando houve do mesmo modo redução dos resultados do IQA, sobretudo para o ponto P-0 localizado na zona rural da capital.

A variação da qualidade da água de cada ponto é observado no Gráfico 6 que demonstra a frequência de tempo que o IQA ficou classificado como Bom, Regular e Ruim. Constatando-se que os pontos com classificação Ruim do IQA estão concentrados na área mais urbanizada de Teresina, em decorrência do comportamento diferenciado na concentração de coliformes termotolerantes, comparado aos demais pontos localizados na área rural e semi-urbana como o P-0 e o P-1, classificados como Bom em 57% e 60% do monitoramento respectivamente. Em contraste os pontos P-5 e P-6 apresentaram 43% e 30% respectivamente frequência de classificação Ruim, devido o impacto do lançamento de esgoto sem tratamento a montante desses pontos, bem como da poluição transportada via escoamento superficial, durante os eventos pluviais.

O ponto P-1, localizado no Balneário Curva São Paulo, ficou classificado como Bom em 60% e como Regular 40% da frequência do monitoramento, apresentando assim condições satisfatórias para uso de lazer com contato primário. Verifica-se, portanto que a concentração das impurezas nos rios é variável e depende da forma como o solo é utilizado, das atividades desenvolvidas na área, dos fatores hidrológicos e das características do ambiente físico.

Os Pontos 2 e 3, localizados na ponte da Rodoviária e na ponte Wall Ferraz, apresentaram, respectivamente, frequência de classificação Regular em 74% e 65% do tempo monitorado, pelo fato de estarem localizados a montante dos bairros das zonas sudeste e sul da capital, os quais não possuem um sistema adequado e suficiente de tratamento de esgoto que atenda a demanda da população, ocasionando a diminuição da qualidade da água assim que o rio entra na área urbana da cidade.

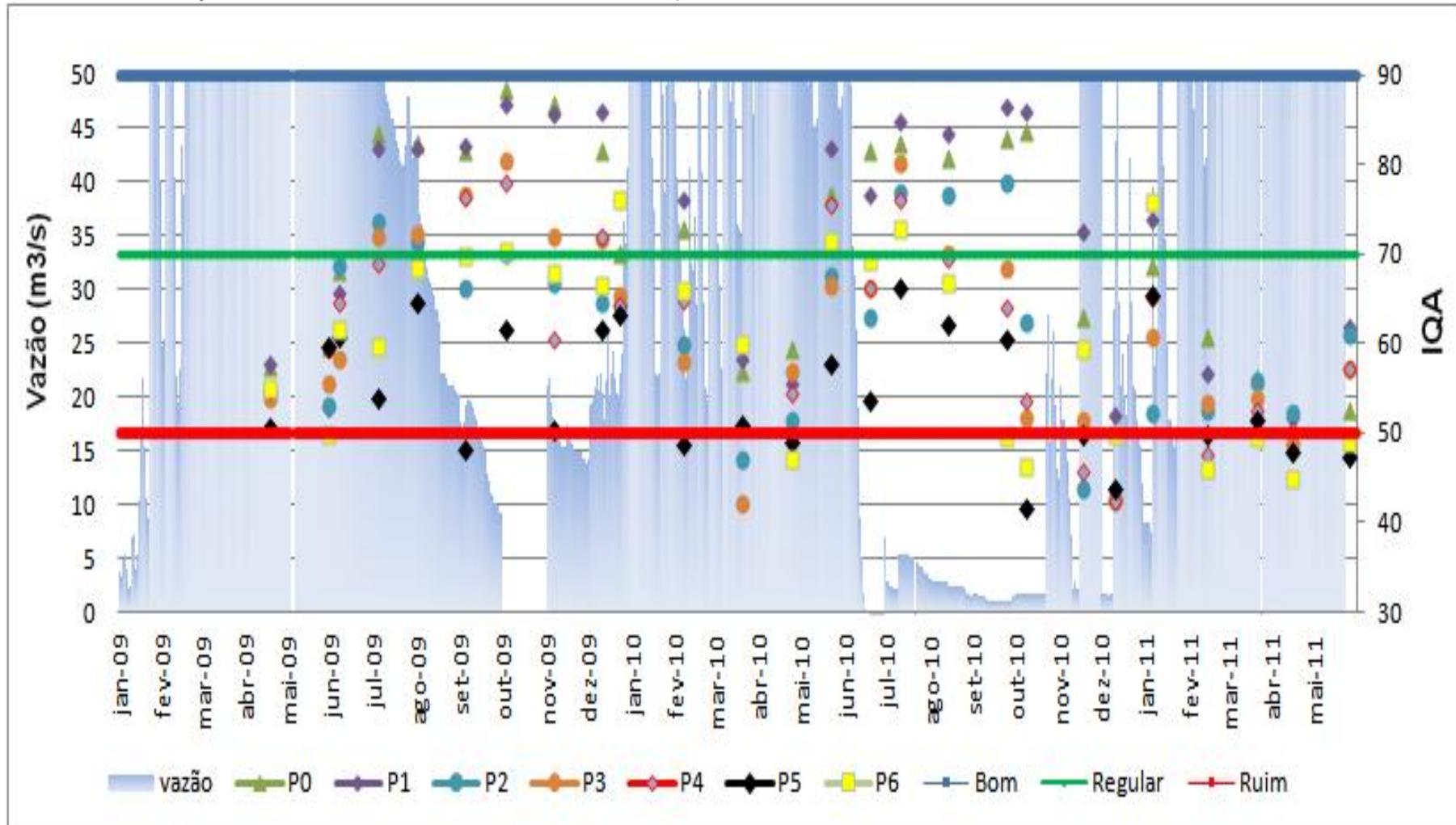
Gráfico 6- Frequência da classificação do IQA nos pontos de monitoramento



Fonte: Pesquisa direta, 2009-2011

A correlação do IQA com a variabilidade da vazão do rio Poti é observado no Gráfico 7, onde se verifica que os meses com maior vazão em consequência do maior volume de chuvas, estão associados a níveis reduzidos do IQA em todos os pontos de monitoramento. Isto ocorre devido o aumento do escoamento superficial que carrega os poluentes dispersos na área de drenagem para o rio. Em contraste a essa situação, constatou-se que nos meses de estiagem houve uma maior influência das variáveis com o resultado do IQA, estando estas correlacionadas ao constante lançamento de esgoto doméstico e à diminuição da capacidade de diluição das cargas poluidoras em consequência da reduzida vazão do rio, que se apresenta em aproximadamente 85% do tempo com baixo volume, como demonstrado na curva de permanência da página 78. Situação também observada por Vega (1998) no rio Pisuerga, localizado no Centro-Norte da Espanha, cuja combinação da alta densidade populacional com as características climáticas locais, causou problemas na hidrologia do rio e na concentração dos poluentes em decorrência da sazonalidade das precipitações.

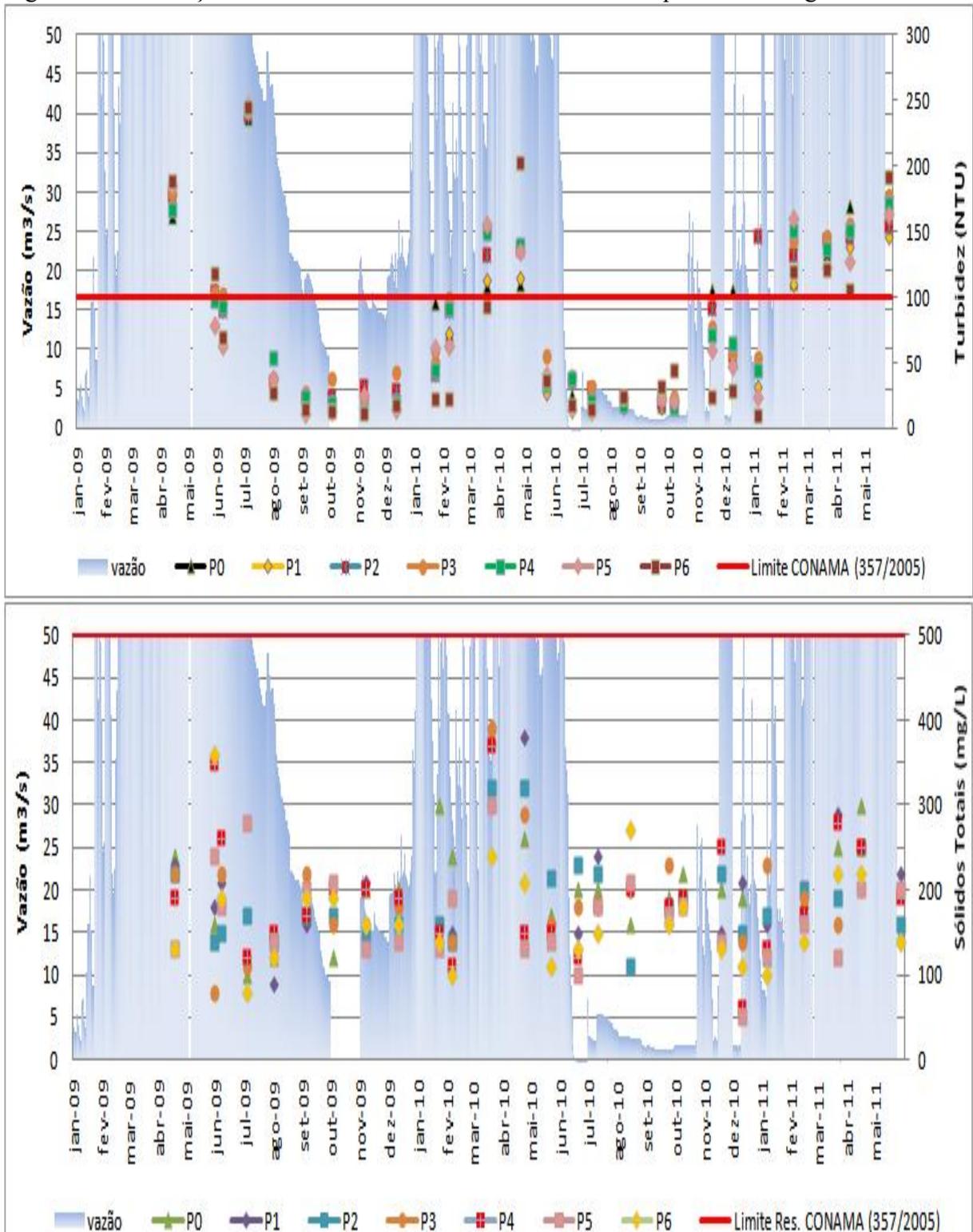
Gráfico 7- Correlação da vazão do rio Poti em Teresina com o IQA



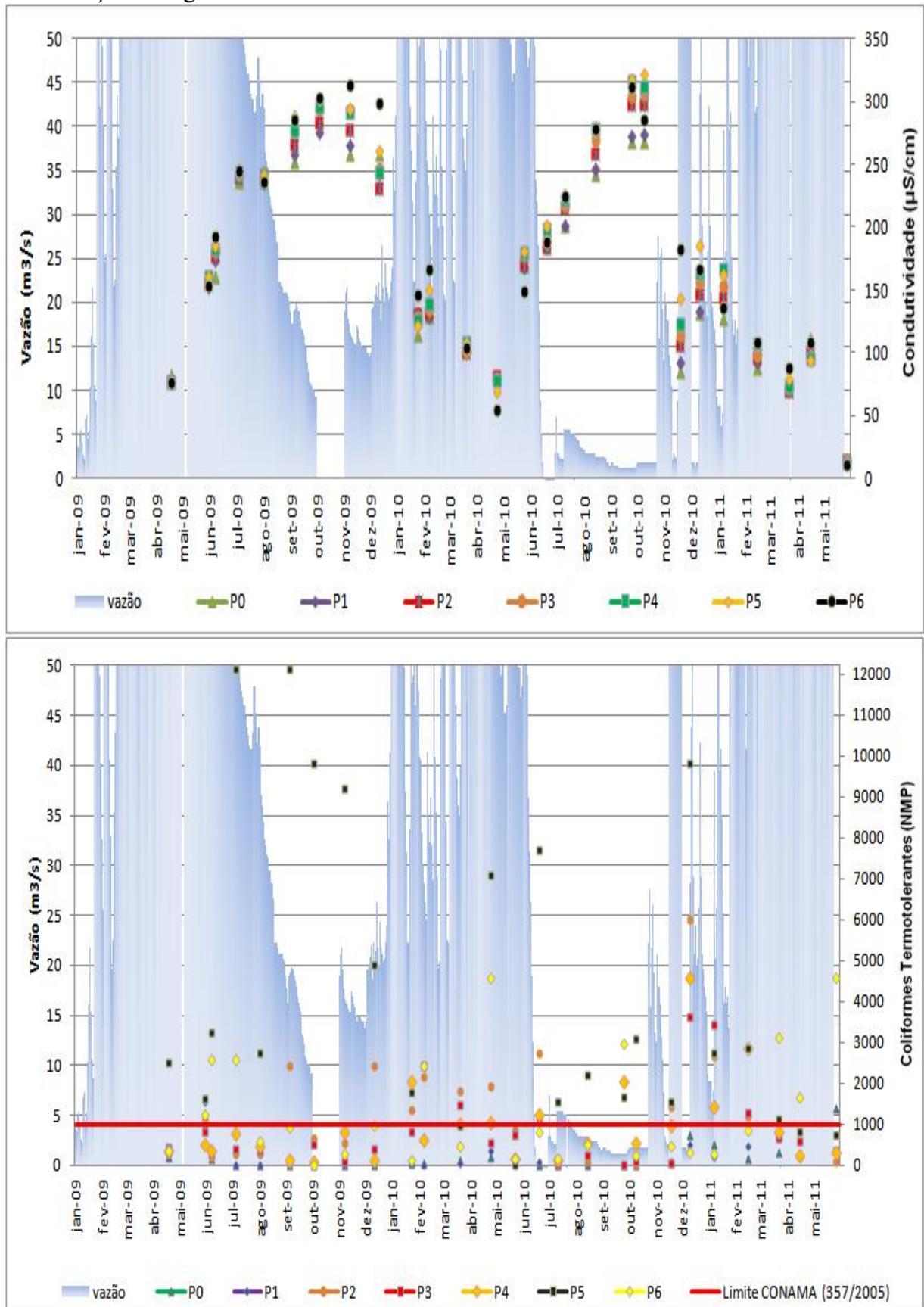
Fonte: Pesquisa direta 2009-2011.

Os parâmetros de qualidade da água, que obtiveram resultados diretamente influenciados pela variabilidade da vazão do rio Poti, foram principalmente: turbidez, sólidos totais, condutividade e coliformes termotolerantes, cuja análise individual pode ser observada na Figura 11.

Figura 11- Correlação da vazão do rio Poti com as variáveis de qualidade da água



Continuação da Figura 11:



Fonte: Pesquisa direta 2009-2010.

Observa-se que a turbidez e os sólidos totais apresentaram valores alterados quando dos eventos de precipitação, devido às altas concentrações de sólidos em suspensão no rio, situação que impossibilita que o feixe de luz penetre na água, reduzindo a capacidade de fotossíntese da vegetação submersa e os desequilíbrios das cadeias tróficas, como discutido por Silva (2008), que observou um aumento dos sólidos suspensos e dos valores de turbidez no rio Purus localizado no Estado do Amazonas, nos meses mais chuvosos. Contudo os resultados para sólidos totais o rio Poti encontra-se dentro do limite determinado para classe 2, com exceção da turbidez que ultrapassa o limite para essa classe quando há aumento do volume de vazão do rio (BRASIL, 2005).

A condutividade elétrica, parâmetro relacionado à presença de íons dissolvidos na água, demonstrou correlação inversamente proporcional à variabilidade da vazão do rio, apresentando maior condutividade nos meses de estiagem. Conforme constatou Esteves (1998 apud SILVA, 2008) por meio de pesquisa, em regiões tropicais os valores de condutividade nos ambientes aquáticos estão mais relacionados às características geoquímicas e condições climáticas da região onde se localizam.

Os coliformes termotolerantes ultrapassaram o limite máximo permitido aos mananciais enquadrados para classe 2 (BRASIL, 2005) nos pontos P-2, P-5 e P-6 em 46%, 90% e 70% respectivamente das coletas realizadas como pode-se observar no Apêndice A. A maior concentração de coliformes termotolerantes no período chuvoso pode ser atribuída à poluição difusa, formada pelas águas pluviais, que ao escoarem pelo solo carregam impurezas dispersas na bacia de drenagem para os corpos hídricos superficiais, ocasionando a degradação da qualidade da água. Rocha (2010) ao estudar o IQA da Bacia Hidrográfica do rio Jiquiriçá no Estado da Bahia, identificou nas áreas mais urbanas elevados valores para coliformes fecais, sendo este e o oxigênio dissolvido os principais parâmetros que possibilitaram a redução da qualidade da água deste manancial.

Constatou-se que os coliformes termotolerantes foi o parâmetro que mais influenciou nos baixos valores do IQA dos pontos localizados nas áreas mais densamente urbanizadas, em decorrência do ineficaz sistema de saneamento básico. Os mecanismos de poluição dos rios em áreas densamente urbanizadas que alteram a qualidade da água pode inviabilizar os usos preponderantes do rio pela população.

5.3 Implicações da poluição do rio Poti em Teresina frente aos usos preponderantes

O resultado do monitoramento do rio Poti em Teresina descrito na Tabela 1 (ver página 83), demonstrou resultados inaceitáveis para classe 2 (BRASIL, 2005) nos pontos P-2, P-5 e P6, devendo-se evitar o contato primário com a água nas proximidades destes pontos, em consequência dos altos valores para coliformes termotolerantes.

A seguir serão descritas as principais implicações dos usos preponderantes verificados no rio Poti: a pesca, o lazer e extração mineral, considerando os resultados do monitoramento realizado.

5.3.1 Pesca

A atividade pesqueira no rio Poti em Teresina acontece ao longo do seu percurso na cidade. Contudo existe uma maior preferência pelos pescadores em utilizar os locais próximo à foz no bairro Poti Velho, em decorrência tanto da água do rio neste ponto se encontrar mais estacionada, como devido à maior concentração de poluentes, situações que atraem cardumes para este local.

Os pescadores existentes em Teresina, como no caso dos residentes no bairro Poti Velho, praticam a pesca em pequena escala, cuja produção serve tanto para o abastecimento familiar, como para a comercialização na própria comunidade. Conforme observou Amorim (2010) em pesquisa no bairro Poti Velho, a pesca no rio Poti acontece de forma artesanal, onde os pescadores demonstram conhecer os ecossistemas aquáticos, no que se refere à migração dos peixes para desova durante a piracema, momento em que a pesca é mais tímida. Relata ainda, que a pesca ocorre principalmente com o uso de redes de espera: enganchos (54%) e tarrafas (37%), técnicas que não exigem o contato direto com a água do rio. Todavia em conversas com pescadores, constatou-se que estes frequentemente precisam entrar no rio para desenganchar as redes e tomar banho, situação que os expõem à transmissão de doenças de contato com a água contaminada.

Conforme o resultado do monitoramento do rio Poti, os pontos localizados próximos à foz (P-5 e P-6) apresentaram os menores resultados do IQA da área pesquisada, devido ao excessivo lançamento de efluentes domésticos sem tratamento a montante desses pontos, quando todas as impurezas da área urbana lançadas no rio são carreadas para a foz. Essa situação apresenta condições inadequadas para atividades de contato primário com a água do rio, conforme os requisitos para a classe 2 (BRASIL, 2005).

O longo período de estiagem em Teresina diminui o nível do rio, em decorrência da baixa vazão, o que acaba por inibir a existência de alguns cardumes, principalmente aqueles com peixes de grande porte. Esta situação associada ao aumento da poluição do rio Poti, traz ameaças a atividade pesqueira na cidade, devendo-se buscar meios de conservação dos mananciais, bem como de conscientização dos pescadores quanto aos riscos que a pesca sofre com a indisciplina ao período de reprodução das espécies, como o da piracema. Há ainda decorrentes do contato e ingestão da água contaminada, que podem trazer prejuízos à saúde da população e ao meio ambiente.

5.3.2 Lazer

A utilização de rios como áreas de lazer é uma realidade em quase todos os estados brasileiros, principalmente os da região Nordeste, caracterizados por registrarem altas temperaturas durante o ano, o que torna atrativo o turismo voltado para o lazer que oferece contato direto com a água. No Piauí, as praias fluviais dos rios Parnaíba e Poti são muito exploradas pela população para lazer durante o período de estiagem, quando expõe extensas faixas de areia ao longo de seus cursos.

No entanto, a ausência de informações sobre a qualidade dos corpos hídricos no Estado do Piauí coloca em risco a saúde dos banhistas, o que torna importante a implantação de um programa de monitoramento, bem como a publicação dos dados de qualidade da água, para suprir essa carência de informação e oferecer maior segurança sanitária aos empreendimentos turísticos ligados ao setor hídrico (MORAIS, 2012).

Teresina encontra-se em baixas latitudes, o que lhe condiciona receber intensa radiação solar durante todo o ano, situação que associado à sazonalidade das chuvas, ocasiona sensações térmicas muito elevadas, principalmente durante o período de estiagem. A condição de a cidade estar inserida no interflúvio dos vales de dois importantes rios federais, o Parnaíba e Poti, favorece o uso de ambos para lazer, como forma da população se refugiar das altas temperaturas. No entanto, o crescimento desordenado da cidade associado ao deficiente sistema de esgotamento sanitário e a disposição final de lixo, tem ocasionado uma significativa diminuição da qualidade da água dos rios Parnaíba e Poti, podendo prejudicar o uso destes para lazer de contato primário, conforme demonstra os resultados de qualidade desta pesquisa.

A Resolução CONAMA nº 357/05, dispõe que a prática de atividades recreativas, sobretudo aquelas com contato primário, é permitido para os rios enquadrados nas classes 1 e 2, desde que sejam observadas as condições de qualidade (BRASIL, 2005).

O uso do rio Poti em Teresina como área de lazer de contato primário ocorre mais intensamente no Balneário Curva São Paulo, localizado na zona sudeste da capital, local que há décadas é utilizado como área de lazer pela população. Inicialmente o Balneário era frequentado somente em algumas épocas do ano e apresentava estruturas de barracas (Fotografia 4). Atualmente, porém apresenta uma estrutura física permanente, implantada pelo poder público municipal (Fotografia 5), com o objetivo de consolidar o local como área de atração turística e de lazer da capital (MORAIS, 2012).

Fotografia 4- Estrutura do Balneário Curva São Paulo em 2001



Fonte: Iracildes M.M. Fé Lima (2001 apud Morais, 2011)

Fotografia 5- Estrutura do Balneário Curva São Paulo em 2009



Fonte: Livânia N. de Oliveira, 2009

Com base em pesquisa, Morais (2012) afirma que a maioria dos usuários do balneário reside na região sudeste no bairro Dirceu (62%) e aproximadamente 35% residem em bairros das demais regiões de Teresina. Aponta ainda que 91% dos visitantes não utilizam o rio para banho, por considerarem a água poluída (46%), predominando um lazer contemplativo da paisagem, associado ao consumo de comidas e bebidas nas barracas, com notável insatisfação dos visitantes quanto às condições de limpeza do ambiente.

O monitoramento da qualidade da água do Balneário Curva São Paulo, realizado entre julho de 2009 e outubro de 2010 por Morais (2012), indicou condições satisfatórias de balneabilidade em, aproximadamente, 90% do período monitorado, além de condições excelentes de balneabilidade nos períodos de estiagem, devido à redução da turbidez e do menor volume de água do rio Poti. Sugere este autor, que durante o período chuvoso o uso recreativo do local deva ser evitado.

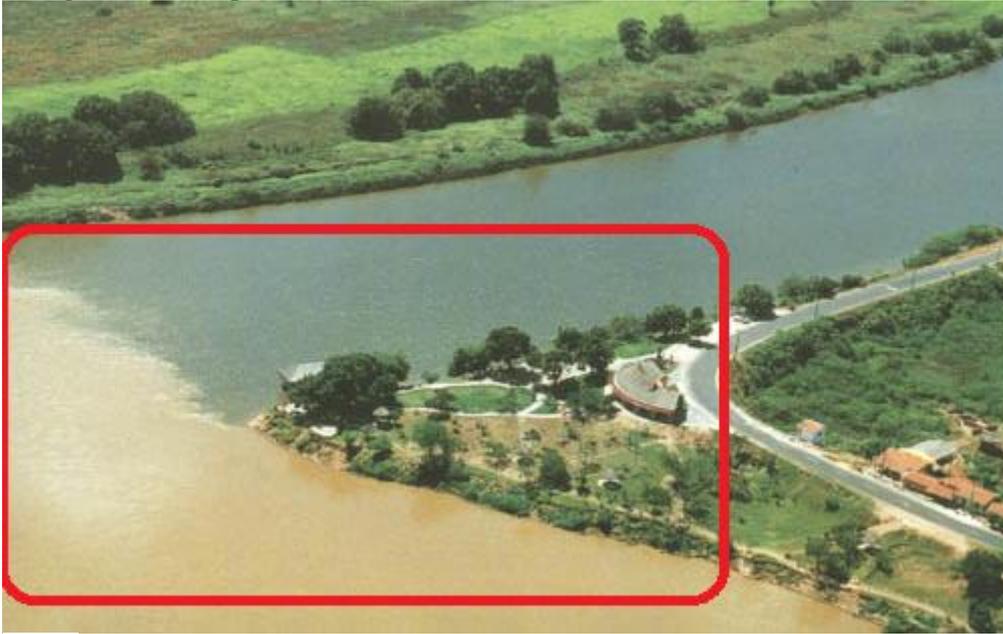
As condições satisfatórias de balneabilidade é resultado do baixo nível de ocupação urbana à montante do balneário. No entanto, esta região encontra-se em processo de urbanização, o que poderá resultar na deterioração da qualidade da água do Poti, caso não sejam tomadas as providências necessárias em relação à implantação dos serviços de saneamento básico. (MORAIS, 2012, p.78).

Nesta pesquisa, o Balneário Curva São Paulo está indicado como o ponto P-1 de monitoramento, localizado na área semi-urbana de Teresina, o qual apresentou classificação Boa e Regular durante o período monitorado (Tabela 2, ver na página 86) apresentando as variáveis de qualidade analisadas conformidade com o determinado para os mananciais enquadrados para classe 2 (BRASIL, 2005).

Para estimular o uso do rio como área de lazer, Morais (2012) propõe o estabelecimento de um programa de monitoramento da balneabilidade durante todo o período de estiagem e adequada sinalização do local, indicando a condição do uso do rio pelo órgão competente do Estado ou Município.

Outra área de lazer que o rio Poti oferece em Teresina, é o Parque Ambiental Encontro dos Rios (Fotografia 6), criado pela Lei Municipal nº 2.265 de dezembro de 1993, com objetivos de promover a preservação ambiental permanente da área, o turismo ecológico além de resgatar a cultura popular do Cabeça de Cuia, possibilitando a realização de atividades de educação, de recreação e contemplação da natureza.

Fotografia 6- Parque Ambiental Encontro dos Rios



Fonte: www.achetudoeregiao.com.br,

Um novo ponto turístico em Teresina localizado na margem direita do rio Poti é a Ponte Estaiada Mestre João Isidoro França (Fotografia 7), que possui um mirante de 95 metros de altura, com capacidade para 100 pessoas, de onde é possível ter uma vista panorâmica da cidade e do leito do rio Poti.

Fotografia 7- Ponte Estaiada Mestre João Isidoro França



Fonte: Livânia N. de Oliveira, 2011

Na margem direita do rio Poti, estão localizados os dois principais shopping centers de Teresina (Figura 12), edificadas em áreas de lagoas naturais, antes destinadas para o controle do escoamento, filtragem e absorção natural das águas que escoavam para o rio, reduzindo o problema das cheias nas áreas ribeirinhas. Todavia, o aterramento das lagoas nesta área sem uma fiscalização eficiente das ligações de esgotos clandestinos para o rio Poti, tornaram suas águas impróprias para o lazer de contato primário nestes locais, sendo constante a necessidade da retirada de aguapés deste rio (Fotografia 1, ver na página 82) em consequência do nível de poluição das águas (SALLES, 2002).

Figura 12: Localização dos dois shopping center de Teresina



Fonte: Google Earth, 2009

5.3.3 extração mineral

Os minerais empregados na construção civil em algumas cidades têm peso expressivo na economia regional, por constituírem insumos básicos importantes para o processo de urbanização e desenvolvimento. Segundo Viana (2007), a intensificação da urbanização e a efetivação de maiores aglomerados populacionais em Teresina propiciaram maior demanda por massará, seixos e areias para a construção civil na cidade.

A unidade geológica da Bacia Sedimentar do Parnaíba de maior expressão geográfica em Teresina é a Formação Pedra de Fogo, constituída tipicamente por uma alternância de silexistos, arenitos e siltitos. Destaca-se também que as aluviões do rio Poti são os maiores fornecedores de areia fina, média e grossa para construção civil na capital, extraídos sobretudo na região do bairro Nova Alegria, localizado na margem esquerda do rio Poti na zona sul da cidade, onde existe a maior concentração de dragas, devido proximidade do núcleo urbano, facilitando o transporte rápido dos minerais (FILHO; MOITA, 1997).

A mineração é desenvolvida tanto pela dragagem do rio Poti como pela exploração em olarias instaladas nos terraços dos rios Poti e Parnaíba na Zona Norte da capital. Todavia ocorre sem a devida recuperação das áreas degradadas, o que pode ampliar os problemas ambientais, provocando o aumento da turbidez, o desmatamento de encostas, o desenvolvimento de voçorocas e o assoreamento do rio (VIANA, 2007).

Há também intensa extração nas áreas chamadas de “barreiros”, voltada para a atividade artesanal (olarias e artefatos domésticos), ocasionando a descaracterização das formas de relevo devido à extração de forma indiscriminada dos topos de encostas e dos canais fluviais (VIANA, 2007).

De acordo com Filho e Moita (1997), embora se reconheça a importância social que representa a mineração de materiais para construção civil em Teresina, a extração desses bens de forma rudimentar tem provocado erosão, assoreamento de vales e cursos d’água, devido à remoção da cobertura vegetal, trazendo prejuízos ao meio ambiente. Nos locais já abandonados pela atividade, como os existentes no bairro Poti Velho, as extensas crateras foram transformadas, com o tempo, em lagoas poluídas dado ao assentamento de vilas em seu entorno.

Devido suas características geológicas e geomorfológicas, a Zona Norte de Teresina torna-se palco da atividade de extração mineral voltada para o fornecimento de seixos, areias, argilas e “massará” para a construção civil e a indústria ceramista. Frente a essa realidade, Batista (2006) e Viana (2007) comentam que essa atividade tem provocado intensos

problemas ambientais, tanto pela dragagem do rio Poti, o manejo desordenado da areia, a lavagem de seixos em suas margens, como também pela intensa extração desses minerais nos planaltos, o que tem contribuído para a formação de lagoas artificiais.

Segundo Viana (2007), das empresas do setor de extração de areia localizadas no leito do rio Poti na Zona Norte de Teresina, mais de 95% são consideradas de pequeno porte com administração familiar. Até 2003, essas empresas atuavam na informalidade. A partir de 2004 com o aumento da fiscalização por parte do Ministério do Trabalho e Emprego, e ação do Ministério Público, devido a questões trabalhistas e ambientais, esses empreendedores tiveram que requerer o direito de lavra junto a DNPM, para continuar explorando areia legalmente no leito do rio Poti.

Embora se reconheça a importância econômico-social da mineração de materiais para construção civil em Teresina, por ser uma atividade que absorve muita mão-de-obra, sua extração provoca erosão e assoreamento de vales e cursos d'água, podendo impedir posterior uso das áreas mineradas para outros fins (FILHO; MOITA, 1997).

Para Viana (2007), a mineração é considerada como atividade potencialmente poluidora do meio ambiente, entretanto recebe tratamento de gestão pública ambiental comum a todas as atividades que efetiva ou potencialmente degradam a qualidade ambiental, precisando ser condicionada à incorporação de critérios e considerações ambientais na definição de suas políticas para que seja conduzido ao estabelecimento de um desenvolvimento ambientalmente sadio e sustentável.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O crescimento urbano desordenado de Teresina nas últimas décadas tem gerado diversos problemas ambientais associados ao lançamento de efluentes e resíduos sólidos de forma indevida nos mananciais, à ocupação de áreas ribeirinha por loteamentos irregulares, à diminuição de áreas verdes, à extração mineral predatória, ao aumento de pavimentação impermeável do solo, dentre outros, que exigem uma gestão mais rigorosa dos recursos naturais, sobretudo dos mananciais, tendo em vista que a capital piauiense é favorecida por dois importantes rios federais e por um rico lençol freático, os quais se tornam ameaçados, por não existir um monitoramento de qualidade da água que auxilie nas intervenções do poder público e da população na conservação desses mananciais.

O monitoramento da qualidade da água do rio Poti em Teresina demonstrou a existência de determinado grau de poluição e contaminação nos pontos localizados no núcleo urbano da cidade, devido principalmente a maior densidade demográfica, o constante lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e ao ineficaz sistema de esgotamento sanitário da cidade.

A não conformidade da qualidade da água do rio Poti frente aos requisitos de qualidade para classe 2 (BRASIL, 2005) está correlacionada aos coliformes termotolerantes, principalmente nos pontos P-2, P-5 e P-6. Tornando-se necessário para Teresina uma maior cobertura do sistema de tratamento de esgoto, que contemple toda a capital e elimine as ligações clandestinas, como forma de se evitar consequências indevidas à saúde dos seus mananciais e da população local, frente ao crescimento desordenado da sua área urbana.

Constatou-se existir determinada correlação da qualidade da água com a variabilidade da vazão do rio Poti, que por sua vez está associado aos eventos de precipitação na bacia e influenciou nos resultados do IQA, bem como particularmente em algumas variáveis de qualidade como: condutividade, turbidez, sólidos totais e os coliformes termotolerantes. Para tanto, torna-se importante maiores investimentos na instalação de estações fluviométricas e pluviométricas na área da bacia do Poti, para melhor analisar o regime de fluxo do rio, bem como garantir um manejo adequado de forma a garantir água em qualidade e quantidade desejáveis aos diversos fins.

O aumento da concentração de poluentes no rio Poti em Teresina tem prejudicado a atividade pesqueira, dado ao baixo volume de vazão durante o ano, provocando a extinção de algumas espécies de cardumes, sobretudo os de grande porte. Assim torna-se importante o investimento em educação ambiental e conscientização dos pescadores sobre os riscos do

contato com a água contaminada, para se evitar maiores prejuízos à sua saúde e ao meio ambiente.

Para o lazer, o monitoramento demonstrou adequado o uso do rio Poti de contato primário nas áreas menos urbanizadas, como no Balneário Curva São Paulo. Contudo no núcleo urbano deve-se evitar o contato direto com a água devido altas concentrações de coliforme fecais na água em decorrência do constante lançamento de esgoto doméstico sem tratamento que possibilita a transmissão de doenças.

Para a extração de minerais usados na construção civil, sugere-se uma gestão mais rigorosa dessa atividade, como forma de evitar maiores prejuízos ao meio ambiente, sobretudo para os corpos hídricos. Frente a este cenário, impõe-se um grande desafio a ser enfrentado na gestão dos recursos hídricos: suprir a demanda por água em quantidade e condições sanitárias adequadas às diversas categorias de uso.

A grande pressão antrópica e o crescimento da demanda por serviços básicos de saneamento têm comprometido o uso dos mananciais em Teresina, utilizados para a diluição das cargas poluidoras. Torna-se necessário um manejo sustentável do solo e da água na cidade, como forma de se efetivar um programa de monitoramento e fiscalização ambiental para assegurar o controle sistemático da qualidade dos recursos hídricos e da qualidade de vida da população, de modo que sejam adotadas medidas de controle e preservação do meio ambiente frente às demandas previstas na legislação. Sendo este um dos grandes desafios da humanidade: saber aproveitar seus recursos hídricos, de forma a garantir seus múltiplos usos, hoje e sempre.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável(CEBDS). **Água, fatos e tendências**. 2. ed. Brasília, 2009.

_____. Banco de dados das estações localizadas na bacia do rio Poti. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso 14 de abr. 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005, 1083p.

ANDRADE, C. S. P. de. **Representação do calor em Teresina-PI**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFPE, 2000. 174p.

ANDRADE, E. M. de et al. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Vol. 36, nº 2, p. 135 -142, 2005.

AMORIM, A. N. Etnobiologia da comunidade de pescadores artesanais urbanos do bairro Poti Velho, Teresina/PI, Brasil. Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

ARAÚJO, J. L. L.(coord.). **Atlas escolar do Piauí**. João Pessoa, PB. Editora Grafset. 2006

BATISTA, M. G. **Degradação ambiental urbana: uma análise de bairros da zona norte de Teresina**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. UFPI, 2006. 141p.

BHATTI, M. T.; LATIF, M. assessment of water quality of a river using an indexing approach during the low-flow season. **Irrigation and Drainage**. Nº 60, p. 103-114, 2011.

BIN LIU e ROBERT SPEED. Water Resources Management in the People's Republic of China. **Water Resources Development**. vol. 25, nº 2, p. 193–208, Jun 2009.

BRAGA, M. A de S. Influência da ZCIT na porção setentrional do Nordeste Brasileiro e sua aplicação pedagógica. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Augusto Motta. Rio de Janeiro, 2009. 60 p.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. **Monitoramento de quantidade e qualidade das águas**. . In: REBOLÇAS, A. C. et al. (Org.). **Águas doces no Brasil**. 3ª ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 145-160.

BRASIL. Presidência da república. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Brasília, 8 de janeiro de 1997. Disponível em <www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9433.htm>. Acesso em 12 de jul. de 2009.

_____. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003**. Define a divisão hidrográfica brasileira. Brasília 15 de outubro de 2003. Disponível em:

<http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=74&Itemid=> Acesso em: 20 de Set. de 2011.

_____. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Síntese Executiva - Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 135p. CD-ROM.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de mar. de 2005.

BRITES, A.P.Z.; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, nº. 4, p. 211-221, 2007.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, nº 5, p. 618-622. 2000.

CAZULA, L. P.; MIRANDOLA, P. H. cuencas hidrográficas - conceptos y la importancia de la planificación de la unidad: un ejemplo aplicado a la cuenca hidrográfica del Ribeirão Lajeado/SP-Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Três Lagoas. Mato Grosso do Sul. nº 12, Nov. 2010

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP)**: Atlas da Bacia do Parnaíba. Brasília, DF: TDA Desenho & Arte Ltda., 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Apêndice a: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/publicacoes.asp>>. Acesso em: 07 jul. de 2010.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 13, nº.1, p.111-124, Jan/Mar de 2008.

DAMASCENO, L. M. O. **Avaliação e monitoramento da qualidade da água do rio Poti na região de Teresina, PI**. Monografia do curso de graduação em Tecnólogo em Meio Ambiente. Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí. Teresina, 2005.

DAMASCENO, L. M. O. *et al.* Qualidade da água do rio poty para consumo humano, na região de Teresina-PI. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável grupo verde de agricultura alternativa (GVAA)**. vol. 3, nº 3, p.116-130. abr/jun de 2008. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/150/181>>. Acesso em: 12 Mar. de 2010.

DEMIRAKA, A. *et al.* Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. **Chemosphere**, vol. 63, p. 1451-1458, 2006.

ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DA EMBRAPA MEIO NORTE (EMBRAPA). **Banco de dados pluviométricos**. 2010

EUCLYDES, H. P. **Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba-MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992. 66 p.

FAÇANHA, A. C. **A Evolução Urbana de Teresina: Agentes, Processos e Formas Espaciais da Cidade**. 1998. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

FEITOSA, S. M. R. F. *et al.* Supressão da Cobertura Vegetal como fator de alteração da Temperatura do ar em Teresina – PI. In: **V Encontro Nacional da ANPPAS**. Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT11-280-193-20100906211620.pdf>>. Acesso em: 07 jan de 2011.

FERREIRA, A. G. F.; MELLO, N. G. da 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, N° 1. Ceará, 2005.

FILHO, F. L. C.; MOITA, J. H. A. **projeto avaliação de depósitos minerais para a construção civil PI/MA**. Vol. 1. Teresina. CPRM, 1997.

GOOGLE EARTH. **Banco de dados**. Localização dos pontos de monitoramento em Teresina. 2009

_____. **Banco de dados**. Localização dos shopping Center de Teresina. 2009.

GUOLIANG WEI. *et al.* Impact of Dam Construction on Water Quality and Water Self-Purification Capacity of the Lancang River, China. **Water Resour Manage**. Vol. 23. N° 9, p.1763-1780, 2009.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: REBOLÇAS, A. C. (Org.). **Águas doces no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 269-324.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010: Piauí. 2011**. Disponível em:

<http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php>. Acesso em: 18 de jan. de 2011.

IORIS, A.A.R., HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. **Journal of Environmental Management**, vol. 88, p. 1190-1201, 2008.

KANNEL, Prakash Raj *et al.* Spatial –temporal variation and comparative assessment of water qualities of urban river system: a case study of the river Bagmati (Nepal). **Environ Monit Assess**. N° 129, p.433–459, 2007.

- LIMA, I. M. M. F. **Caracterização Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Poti**. Tese de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1982.
- LOPES TIBURTIUS, E. R.; PERALTA-ZAMORA, P. Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, vol. 27, nº 3, p. 441-446, 2004.
- MAANE-MESSAI, S *et al.* Spatial and Temporal Variability of Water Quality of an Urbanized River in Algeria: The Case of Soummam Wadi. **Water Environment Research**, vol. 82, Nº 8, p.742-7499, 2010
- MAITRE, D. C. L.; COLVIN, C. A. Assessment of the contribution of groundwater discharges to rivers using monthly flow statistics and flow seasonality. **Água SA (Online)** vol.34, nº5, Pretória, outubro 2008. Disponível em: <http://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S1816-79502008000500004escript=sci_arttext>. Acesso 18 mar. de 2011.
- MAROTTA, H; SANTOS, R. O. dos; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Rev. Ambiente e sociedade**. vol.11. nº1. Campinas.Jan./Jun,2008.
- MARTÍNEZ , L. L.G.; POLETO, C. lead distribution by urban sediments on impermeable areas of Porto Alegre-RS, Brazil . **Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)**, vol.4, nº1, p.1-8, 2010.
- MELO, A. B. C. de. et al. Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2000, Rio de Janeiro. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- MONTEIRO, C. A. B. **Caracterização do esgoto sanitário de Teresina: eficiência, restrições e aspectos condicionantes**. Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2004, CD-ROM.
- MORAES, S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Rev. Saúde Pública**. São Paulo:vol.36nº 3, 2002.
- MORAIS, R. C. de S. **Diagnóstico Socioambiental do Balneário Curva São Paulo-Teresina-Pi**. Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.
- MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3ª ed. atual. e rev. Rio de Janeiro: ABES, 2008.
- _____. **Urbanização e meio ambiente**. 4ª ed. atual. rev. Rio de Janeiro; Fortaleza. ABES, 2011.
- NAGUETINNI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia estatística**. CPRM, Belo Horizonte. 2007.

NETO, A. C. **sistemas urbanos de drenagem**. (2005). Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf> Acesso em: 10 de mar. de 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 21**. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 3 a 14 de junho, 1992. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/se/agen21/capa/>. Acesso em: 15 ago. 2010

PARQUE AMBIENTAL ENCONTRO DOS RIOS. Disponível em: <http://www.achetudoeregiao.com.br/pi/teresina/parques_ambientais.htm>. acesso em: 10 de Jun. de 2010.

PASSETO, W. **Dossiê do saneamento esgoto é vida**. 2000. Disponível em: <<http://www.esgoetoevida.org.br/download.php>> Acesso em: 02 jul. 2011.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH-UFRGS. vol. 1, nº 1, p. 20-36, 2004. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/informacoes/rerh.pdf>>. Acesso em: 24 de junho de 2010.

PIONKE, H.B. *et al.* Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in stream flow draining an agricultural hill-land watershed. **Journal of Hydrology**. Nº 220. p. 62-73, 1999.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um Modelo Chuva-Vazão em Bacias sem Monitoramento Fluviométrico a partir de Curvas de Permanência Sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol. 15 nº2, p.143-156, Abr/Jun, 2010.

PISSARRA, T. C.; POLITANO, W. A Bacia Hidrográfica no contexto do uso do solo com florestas. in: VALERI, S. V. et al. (Ed.). **Manejo e recuperação florestal: legislação, uso da água e sistemas agroflorestais**. Jaboticabal. Funep, 2003. p. 29-54.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T de . **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH. Editora da Universidade-UFRGS, 1995.

PORTO, M.F.A e PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**. Vol. 22. n.63, 2008

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA (PMT). **Teresina Agenda 2015**. A cidade que queremos. Diagnóstico de cenários: meio ambiente. Teresina, 2002.

_____. Secretaria Municipal de Planejamento. **População urbana segundo a área de atuação da superintendência de desenvolvimento urbano**. Teresina, 2007.

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. in. REBOUÇAS, A. da C. *et AL* (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3º ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

ROCHA, J. L. S. Indicador integrado de qualidade ambiental aplicado à gestão da Bacia Hidrográfica do rio Jiquiriçá, BA, Brasil. **Ambi-Água**. Taubaté. v.5. n.1. p. 89- 101, 2010. Disponível em: www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/.../347/390. acesso em: 20 de set. de 2011.

SALATI, et al. Água e o desenvolvimento sustentável. in: REBOUÇAS, A. da C. et al.(org). **Águas doces no Brasil**. 3ª ed. São Paulo: Escrituras, 2006. P.37-62.

SALLES, M. do S. T. M. **Teresina e sua condição urbana**. Teresina, 2002. Disponível em: <<http://www.ufpi.br/mesteduc/eventos/iiencontro/GT-15/GT-15-02.htm>> Acesso em: 28 de Abr. de 2010.

SATÉLITE LANDSAT 5. Geoprocessamento de imagens de Satélite Landsat 5 do sítio urbano de Teresina em 1985 e 2010. Teresina, 2011

SELBORNE, L. **A ética do uso da água doce: um levantamento**. Brasília: UNESCO, 2002.

SEMAR. **Bacia do rio Poti**. atlas de abastecimento de água do Estado do Piauí, 2004. CD-ROM 1.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí**. Relatório síntese. Piauí. 2010.

SHIL'KROT, G. S.; YASINSKII, S. V. Spatial and Temporal Variability of Biogenic Elements Flow and Water Quality in a Small River, Moscow, Russia. **Water Resour**. Nº 29, p. 312–318, 2002.

SILVA, A. E. P. *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**. vol.38, n.4, p. 733-742, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v38n4/v38n4a17.pdf>>. Acesso em: 18 de Abr. de 2010.

SILVA, E. V. da; RODRIGUES, J. M. M; MEIRELES, A. J. de A. **planejamento ambiental e bacias hidrográficas** (tomo 1). Fortaleza: edições UFC, 2011

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, Massachusetts, EUA, vol. 100, n. 2, p. 179-196, jul. 1999.

SOUZA, M. L. **Mudar a Cidade**. Uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 145 p.

SOUSA, L. S; TORRES, J. R. de O. ; OLIVEIRA, L.F. Estudo de influência do Nitrito no crescimento de aguapés no Rio Poty na região de Teresina-PI. **1º Encontro Nacional de Tecnologia Química**. Fortaleza-CE. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/entequi/2008/trabalhos/13-227.htm>>. Acesso em: 18 de Abr. de 2010

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996, 243p.

TAVARES, A. R. Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos, São Paulo. 2005. 176p.

TERESINA. Lei Municipal nº 2.265 de Dezembro de 1993. Dispõe sobre as formas de uso do solo urbano em Teresina. Disponível em: <http://www.pc.pi.gov.br/download/201011/PC23_e113182c61.pdf>. Acesso em: 22 de Set. de 2011.

TUCCI. C. E. M; BERTONI, J. C. (org.). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1ª ed. 2003.

TUCCI. C. E. M. Águas urbanas: interfaces no gerenciamento. In: PHILIPPI Jr., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri- SP: Manole, p. 375-411, 2005.

_____. Água no meio urbano. in: REBOUÇAS, A. da C. et al (org.). **Águas doces no Brasil**. 3ª ed. São Paulo: Escrituras, 2006. P.399-432.

_____. **Águas urbanas**. Estudos avançados. vol.22. nº 63, São Paulo, 2008. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200007escript=sci_arttext>. Acesso em: 13 Set de 2010.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: Rima, 2003.

TUNDISI, J. G; TUNDISI, T. M.; Rocha, O. Ecossistema de águas interiores. in: REBOUÇAS, A. da C. et al. (org). **Águas doces no Brasil**. 3ª ed. São Paulo: Escrituras, 2006. P. 161-202.

VEGA, Marisol et al. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**. Vol. 32, Nº 12, 1998, p. 3581-3592.

VIANA, B. A da S. **Mineração de materiais para construção civil em áreas urbanas: impactos socioambientais dessa atividade em Teresina-Pi-Brasil**. Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.

VICENTE, J. Evaluation of the water quality in the Guadarrama river at the section of Las Rozas-Madrid, Spain. **Water and Environment Journal**. nº 25, p.55-66, 2011.

APÊNDICE A

Resultado das variáveis de qualidade da água

