



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

SIDINEYDE SOARES DE LIMA COSTA

**ESTUDOS AMBIENTAIS, CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E
BATIMETRIA DO TRECHO URBANO DO RIO PARNAÍBA, EM TERESINA,
PIAUI, BRASIL**

Recife

2020

SIDINEYDE SOARES DE LIMA COSTA

**ESTUDOS AMBIENTAIS, CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E
BATIMETRIA DO TRECHO URBANO DO RIO PARNAÍBA, EM TERESINA,
PIAUI, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de doutor em geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Iracilde Maria de Moura Fé Lima

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

C838e Costa, Sidineyde Soares de Lima.
Estudos ambientais, caracterização sedimentológica e batimetria do trecho urbano do Rio Parnaíba, em Teresina, Piauí, Brasil / Sidineyde Soares de Lima Costa. - 2020.
300 folhas, il., tab.; abr. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Iracilde Maria de Moura Fé Lima.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2020.
Inclui referências.

1. Geociências. 2. Morfologia. 3. Agentes antrópicos. 4. Qualidade da água. 5. Vulnerabilidade . 6. Canal. 7. Granulometria dos sedimentos. I. Manso, Valdir do Amaral Vaz (Orientador). II. Lima, Iracilde Maria de Moura Fé (Coorientadora). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-230

SIDINEYDE SOARES DE LIMA COSTA

**ESTUDOS AMBIENTAIS, CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E
BATIMETRIA DO TRECHO URBANO DO RIO PARNAÍBA, EM TERESINA,
PIAUÍ, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de doutor em “geociências”. Área de Concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental

Aprovada em: 31/01/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Diniz Madruga Filho (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Rochana Campos de Andrade Lima Santos (Examinadora Externa)

Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (Examinador Externo)

Universidade Federal do Ceará

Primeiramente a Deus por toda a resistência que tens me concedido.

Ao meu esposo Maxwell, pelo companheirismo, respeito e dedicação em todos os momentos pessoais e profissionais.

Aos meus queridos e estimados pais, Domingos e Jovelina, por todo o amor que me tens.

Aos meus cunhados (a), por todo o apoio dado para execução dos estudos.

Aos meus queridos sobrinhos (as), tios (as), primos (as) e sogro (a), pelo apoio e carinhos dados.

Aos meus queridos irmãos (as), Manoel Sirnande, José Ivaldo, Suzana, Suely, Silvana e em especial ao meu inesquecível irmão, sempre companheiro, amigo e amado, para sempre Antônio Soares Modesto da Costa (In memorian),

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por toda força e coragem concedida para a realização deste doutorado, por toda fé nos momentos difíceis, minha gratidão eterna.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelo apoio institucional e pela acolhida fraterna, sobretudo por parte dos professores que acompanharam de perto o desenvolvimento do Doutorado.

À Secretaria de Educação e Cultura do Estado do Piauí – SEDUC, pelo apoio institucional.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), pela colaboração institucional.

À Pró-Reitoria para Assuntos Estudantis - PROAES (UFPE), pela acolhida fraterna.

À Casa da Estudante Universitária – CEU (UFPE), pelo apoio institucional e acolhida cordial.

Ao Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso, pelo prazer de partilhar seu conhecimento e larga experiência no campo da Geologia, pelo apoio, incentivo e orientação da Tese em todas as suas etapas.

À Profa. Dra. Iracilde Maria de Moura Fé Lima, por compartilhar conhecimento e larga experiência de pesquisa na área em estudo, pelo apoio, incentivo e orientação da Tese.

À Profa. Ms. Maria Geci de Oliveira, Química, pelas contribuições em todo o processo de construção da tese.

Ao Prof. Dr. Almany Costa Santos pelo apoio e orientação dada para execução e desenvolvimento da tese.

À AGESPISA – Águas e Esgotos do Piauí S/A, pela colaboração através da disponibilização de dados de análise da água do Rio Parnaíba da área de estudo.

À CPRM, através dos Engenheiros Cláudio Damasceno de Souza e Roberto José Amorim Rufino Fernandes pela colaboração e disponibilização de dados hidrogeológico da área pesquisada.

À SEMPLAN, através do Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro pela disponibilização de dados de batimetria do Rio Parnaíba.

Ao Prof. Dr. Gustavo Valladares, do Curso de Geografia da UFPI, pela disposição e concessão do Laboratório de Análise de Solos (LASO) da UFPI para utilização de materiais de análise.

Às residentes da Casa da Estudante Universitária – CEU (UFPE), em especial: Bruna, Deise, Taís, Amanda, Rayanne e Olívia.

Aos Geógrafos Francisco Wellington e Eric Melo pelas colaborações nos trabalhos de campo.

Ao meu pai, Domingos Modesto, à irmã Suzana Costa, à cunhada Andréia C. Soares e ao sobrinho Carlos E. Assunção, pelas colaborações direta nos trabalhos de campo.

Ao Engenheiro Civil Miguel Sebastião Maia Chaves Arrais do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM, pelo apoio prestado durante todo o curso.

Ao Guilherme Gustavo Assis dos Santos, Sharliane Dornelle d'Almeida Arruda, do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM, pela ajuda incondicional.

À toda minha família pelo apoio dado antes e durante o curso.

E, finalmente, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o êxito deste trabalho.

“Os rios representam, sem dúvida, um dos mais importantes agentes geológicos que desempenham papel de grande relevância no modelado do relevo, no condicionamento ambiental e na própria vida do ser humano” (SUGUIO, 2003, p. 220)

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o grau de vulnerabilidade ambiental e contaminação do Rio Parnaíba, especificamente no trecho urbano de Teresina, com base em sua história geológica, sedimentológica e descrição batimétrica. Tendo em vista que a morfologia deste rio está em constante transformação por estar submetido aos agentes modificadores internos e externos com destaque para os impactos antrópicos, utilizou-se a seguinte metodologia: levantamento e análise do material geocartográfico e bibliográfico; trabalhos de observação de campo, com coleta de material para análise sedimentológica e de informações da batimetria do canal; de vulnerabilidade ambiental; análises laboratoriais, realizando ensaios físico-químico e microbiológico da água bruta e dos esgotos e granulometria dos sedimentos. Os resultados evidenciaram o grau de vulnerabilidade provocado pelo uso da Área de Preservação Permanente - APP, constatando média vulnerabilidade nos setores Sul e Norte II, com baixo perigo estimado e baixo risco ambiental; e alta vulnerabilidade nos setores Centro e Norte I. O setor Centro foi classificado como área de médio perigo e risco, sendo o Norte I considerado uma área de baixo perigo e risco ambiental. Nos parâmetros físico-químicos da água em 2015 e 2016, verificou-se que a Demanda Bioquímica de Oxigênio e o teor de Ferro estão acima do limite aceitável. Enquanto as análises em 2018 evidenciaram que os demais parâmetros estudados se encontram com valores aceitáveis conforme a Resolução CONAMA 357/05 e que todas as amostras de água se encontravam contaminadas por Coliformes Totais e Termotolerantes. Já os efluentes que caíam diretamente no rio não provocavam danos às suas águas, segundo a Resolução CONAMA 430/11. As características de sedimentologia demonstraram a predominância da fração areia, com destaque para areia muito fina, ressaltando o quartzo como principal composição mineralógica, e minerais pesados como constituinte secundário. Na análise da batimetria verificou-se um canal com largura e profundidade diferenciada. Com o presente trabalho, pôde-se concluir que o trecho do rio estudado se configura entre médio e alta vulnerabilidade, com baixo perigo estimado a inundações, com apenas um setor do canal apresentando médio perigo. A estimativa de risco de alargamento do canal e da obstrução da passagem da água, se configura com baixo índice, sendo o setor Centro uma área de médio risco. O valor encontrado para o Índice Geral de Qualidade da Água (IQA), em 2015 e 2016, evidenciou qualidade razoável e boa. Na distribuição dos depósitos aluviais, identificou-se de quatorze (14) bancos de areia em 2017, ora móveis, ora fixos. As características sedimentares do canal do rio apresentam-se fracionada em cascalhos, areia e lama com predomínio da granulometria arenosa. As seções batimétricas

destacaram o trecho mais estreito do rio no setor centro e o mais largo no final do setor Norte. A menor e a maior profundidade verificadas foram: -0,01 e -13,06 metros, respectivamente, situadas no final do setor Norte a jusante da direção do fluxo. Espera-se que este estudo possa subsidiar trabalhos educativos e de planejamento urbano ambiental, orientando políticas públicas de uso do solo urbano ao longo do Rio Parnaíba.

Palavras-chave: morfologia; agentes antrópicos; qualidade da água; vulnerabilidade; canal; granulometria dos sedimentos.

ABSTRACT

This research is aimed to analyze the environmental degree of vulnerability and contamination in the Parnaíba River, specifically in the urban stretch of Teresina, based on its geological, sedimentological history and bathymetric description. Bearing in mind that the morphology of this river is in constant transformation because it is subjected to internal and external modifying agents, with emphasis on anthropic impacts, the following methodology was used: survey and analysis of geocartographic and bibliographic material; field observation, with material collection for sedimentological analysis and information on the channel bathymetry; environmental vulnerability; laboratory analysis, performing physical-chemical and microbiological tests of raw water and sewage and granulometry sediments. Those results showed the vulnerability degree caused by the use of Permanent Preservation Area - PPA, showing a vulnerability average in the South and North II sectors, with low estimated danger and low environmental risk; and high vulnerability in the Center and North I sectors. The Center sector was classified as an area of medium danger and risk, with North I being considered an area of low danger and environmental risk. In the physical-chemical water parameters in 2015 and 2016, it was found that the Biochemical Oxygen Demand and the Iron content are above the acceptable limit. While the analyzes in 2018 showed the other parameters studied are within acceptable values according to CONAMA Resolution 357/05 and that all water samples were contaminated by Total and Thermotolerant Coliforms. The effluents that fall directly into the river did not cause damage to its waters, according to CONAMA Resolution 430/11. The sedimentology characteristics demonstrated the predominance of the sand fraction, with emphasis on very fine sand, emphasizing quartz as the main mineralogical composition, and heavy minerals as a secondary constituent. In the bathymetry analysis, a channel with different width and depth was verified. With the present work, it was possible to conclude that the section of the studied river is configured between medium and high vulnerability, with low estimated danger to floods, with only one channel sector presenting medium danger. The estimated widening channel risk and obstructing the passage of water is low, with the Center sector being a medium risk area. The value found for the General Water Quality Index (IQA), in 2015 and 2016, showed reasonable and good quality. In the distribution of alluvial deposits, fourteen (14) sandbanks were identified in 2017, now mobile, now fixed. The sedimentary river characteristics channel are divided into gravel, sand and mud with a sandy predominance granulometry. The bathymetric sections highlighted the narrowest stretch of the river in the center sector and the widest at the end of the North sector. The smallest and greatest depth

observed were: -0.01 and -13.06 meters, respectively, located at the end of the North sector flow downstream direction. It is hoped that this study can support educational and environmental urban planning activities, guiding public policies for the urban land use along the Parnaíba River.

Keywords: morphology; anthropic agents; water quality; Vulnerability; channel; sediment granulometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa de localização – Teresina (Piauí) – área urbana	39
Figura 2 –	Mapa da Geologia local - Formações geológicas do trecho urbano de Teresina-PI	48
Figura 3 –	Sequência estratigráfica da Formação Piauí, mostrando o perfil litofaciológico, os ciclos, os histogramas de fácies, os conjuntos de ciclos, as superfícies-chave, os sistemas deposicionais e os tratos de sistemas interpretados	50
Figura 4 –	Fotografia de afloramento da Formação Piauí - sistema deposicional com camadas intercaladas com lâmina de siltito e calcarenito – zona sul de Teresina	51
Figura 5 –	Fotografia de afloramento da formação Piauí – sistema deposicional com camadas intercaladas com lâmina de siltito e calcarenito, no extremo norte da cidade de Teresina	52
Figura 6 –	Fotografia de amostras de estrutura erosionais e deposicionais - arenito róseo com marcas de impacto e marcas onduladas	53
Figura 7 –	Sequência estratigráfica da Formação Pedra de Fogo, mostrando o perfil litofaciológico, os ciclos, os histogramas de fácies, os conjuntos de ciclos, as superfícies-chave, os sistemas deposicionais e os tratos de sistemas interpretados	55
Figura 8 –	Fotografia de Afloramento da Formação Pedra de Fogo, laminação horizontal com estruturas perturbadas – Alta energia e Baixa energia. - Zona sul de Teresina-PI, entre os bairros Irmã Dulce e Angelim (Conjunto Mário Covas)	56
Figura 9 –	Fotografia evidenciando camadas estratigráficas de depósito de sedimentos com camadas estratificadas – estratificação Cruzada sustentadas com clastos, entre os bairros Irmã Dulce e Angelim (Conjunto Mário Covas), zona sul de Teresina	57
Figura 10 –	– Fotografia de amostras de concreções de sedimentos silicosos. Calcirudito - a cor avermelhada está relacionada a hidróxido de ferro	58
Figura 11 –	Fotografia de afloramento da Formação Pedra de Fogo, Sequência com arenitos com estratificação cruzada - na zona Sul de Teresina, no Residencial Portal da Alegria	59
Figura 12 –	Fotografia do cenário arenítico - Formação Pedra de Fogo, – arenito e conglomerados clastos com graduação normal – zona norte de Teresina, no bairro Santa Maria da CODIPI	60
Figura 13 –	Fotografia evidenciando migração lateral de sedimentos – Barra de pontal e acreção frontal, no leito do Rio Parnaíba – trecho urbano de Teresina	61
Figura 14 –	Figura14 – Mapa Teresina (Piauí) – Barras de sedimentos na calha do Rio Parnaíba – trecho urbano de Teresina	62

Figura 15 –	Fotografia do canal do Rio Parnaíba com destaque para as morfologias onduladas	63
Figura 16 –	Fotografia do sítio urbano de Teresina	70
Figura 17 –	Fotografia de áreas transformadas no centro da cidade	70
Figura 18 –	Mapa: relevo de Teresina	75
Figura 19 –	Mapa da Declividade local - Teresina (Piauí)	78
Figura 20 –	Fotografia da vegetação Mata dos Cocais (babaçu - <i>Attalea speciosa</i>) /área urbana de Teresina	81
Figura 21 –	Fotografia de área desmatada na margem do Rio Parnaíba	82
Figura 22 –	Mapa Teresina (Piauí) – Pontos de coletas de sedimentos	101
Figura 23 –	Mapa Teresina (Piauí) – Pontos de coletas de água e esgoto para análises físico-químico e microbiológico	104
Figura 24 –	Mapa Teresina (Piauí) - Vulnerabilidade Ambiental	122
Figura 25 –	Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Setor Sul	127
Figura 26 –	Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Setor Centro	134
Figura 27 –	Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Setor Norte 1	140
Figura 28 –	Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Seção Norte 2	146
Figura 29 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , Bueiro Areias	189
Figura 30 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , Bueiro Balão da CEPISA	189
Figura 31 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , bueiro Ponte da Amizade	190
Figura 32 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , bueiro Carvalho	190
Figura 33 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , bueiro Bolinha	191
Figura 34 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , bueiro Iate Clube	191
Figura 35 –	Saídas de águas servidas <i>in natura</i> , bueiro ETE	192
Figura 36 –	Amostra 1: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados da margem direita, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina (Aumento)	219
Figura 37 –	Amostra 2: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados à sub-angulosos do meio do canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina (Aumento)	220
Figura 38 –	Amostra 3: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados do ponto de coleta 28, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina (Aumento)	221
Figura 39 –	Amostra 4: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-angulosos do ponto de coleta 47, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina (Aumento)	221
Figura 40 –	Amostra 5: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados à sub-angulosos do ponto de coleta 49, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina (Aumento)	222

Figura 41 –	Mapa batimétrico do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina	229
Figura 42 –	Fotografia da seção batimétrica PCD, Bairro Saci. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	230
Figura 43 –	Fotografia da seção batimétrica Ponte da Tabuleta no Bairro Tabuleta. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	232
Figura 44 –	Fotografia da seção batimétrica Gil Martins no Bairro São Pedro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	233
Figura 45 –	Fotografia da seção batimétrica Valter Alencar, no Bairro São Pedro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	235
Figura 46 –	Fotografia da seção batimétrica Prainha no Bairro Vermelha. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	236
Figura 47 –	Fotografia da seção batimétrica Centro Administrativo no Bairro Vermelha. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	238
Figura 48 –	Fotografia da seção batimétrica Balão da CEPISA no Bairro Vermelha. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	239
Figura 49 –	Fotografia da seção batimétrica Ponte da Amizade, no Bairro Centro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	241
Figura 50 –	Fotografia da seção batimétrica Troca-Troca no Bairro Centro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	242
Figura 51 –	Fotografia da seção batimétrica Ponte Metálica no Bairro Matinha. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	244
Figura 52 –	Fotografia da seção batimétrica Iate Clube no Bairro Matinha. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	245
Figura 53 –	Fotografia da seção batimétrica UESPI no Bairro Pirajá. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	246
Figura 54 –	Fotografia da seção batimétrica ETE-THE no Bairro Acarape. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	248
Figura 55 –	Fotografia da seção batimétrica AMI no Bairro Matadouro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	249
Figura 56 –	Fotografia da seção batimétrica MDH no Bairro Matadouro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	250
Figura 57 –	Fotografia da seção batimétrica Lagoas do Norte no Bairro Matadouro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	252
Figura 58 –	Fotografia da seção batimétrica ETE-T no Bairro São Joaquim. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	253
Figura 59 –	Fotografia da seção batimétrica Horta no Bairro São Joaquim. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	254
Figura 60 –	Fotografia da seção batimétrica Bar do Velhinho no Bairro Olarias. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	256
Figura 61 –	Fotografia da seção batimétrica Encontro dos Rios no Bairro Olarias. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	257

Figura 62 –	Fotografia da seção batimétrica Barra das Pombas no Bairro Santa Rosa. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	258
Figura 63 –	Fotografia da seção batimétrica Sede Agrícola no Bairro Santa Rosa. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	260
Figura 64 –	Fotografia da seção batimétrica Santa Rosa, no Bairro Santa Rosa. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	261
Figura 65 –	Fotografia da seção batimétrica Parque Brasil no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	263
Figura 66 –	Fotografia da seção batimétrica Curva Poti no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	264
Figura 67 –	Fotografia da seção batimétrica Beira Rio no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	266
Figura 68 –	Fotografia da seção batimétrica Porto no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	267
Figura 69 –	Fotografia da seção batimétrica Fazenda São Gonçalo no Bairro Santa Maria. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste	268

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Série histórica de médias anuais de defluências totais da usina de Boa Esperança -1986 a 2017	65
Gráfico 2 –	Série histórica de médias anuais de vazão no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina - 1986 a 2017	66
Gráfico 3 –	Série histórica de médias anuais de defluência da Usina de Boa Esperança e da vazão no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina - 1986 a 2017	67
Gráfico 4 –	Gráfico de dispersão com linha de tendência relacionado à série histórica de médias anuais de defluência da Usina de Boa Esperança e de vazão no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina - 1986 a 2017	68
Gráfico 5 –	Dados históricos: Precipitação anual em Teresina	79
Gráfico 6 –	Demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no Setor Sul	124
Gráfico 7 –	Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Sul - trecho urbano de Teresina	129
Gráfico 8 –	Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do Rio Parnaíba	130
Gráfico 9 –	O gráfico demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no Setor Centro	132
Gráfico 10 –	Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Centro – trecho urbano de Teresina	136
Gráfico 11 –	Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do rio, setor Centro - trecho urbano de Teresina	137
Gráfico 12 –	Demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no setor Norte 1	139
Gráfico 13 –	Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Norte 1 – trecho urbano de Teresina	142
Gráfico 14 –	Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do Rio, setor Norte 1 - trecho urbano de Teresina	143
Gráfico 15 –	O gráfico demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no Setor Norte 2	144
Gráfico 16 –	Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Norte 1 – trecho urbano de Teresina	147
Gráfico 17 –	Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do Rio, setor Norte 2 - trecho urbano de Teresina	148
Gráfico 18 –	Distribuição anual de Turbidez no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	157

Gráfico 19 –	Distribuição anual de Condutividade elétrica no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	158
Gráfico 20 –	Relação anual entre Temperatura-Pluviosidade no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	159
Gráfico 21 –	Distribuição anual do Potencial Hidrogeniônico (pH) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	161
Gráfico 22 –	Distribuição anual de Alcalinidade no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	162
Gráfico 23 –	Distribuição anual de Dureza no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	163
Gráfico 24 –	Concentração anual de Cloretos no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	164
Gráfico 25 –	Distribuição anual da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016...	165
Gráfico 26 –	Distribuição anual do Oxigênio Dissolvido (OD) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	166
Gráfico 27 –	Relação anual entre Temperatura-Ferro no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	168
Gráfico 28 –	Distribuição anual de Amônia (NH ₄ ⁺) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	169
Gráfico 29 –	Distribuição anual de Nitrito (NO ₂ ⁻) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	170
Gráfico 30 –	Distribuição anual de Nitrato (NO ₃ ⁻) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	171
Gráfico 31 –	Distribuição anual dos Sólidos Totais no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	172
Gráfico 32 –	Distribuição anual dos Sólidos Totais Dissolvidos no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	173
Gráfico 33 –	Distribuição anual de Coliformes Totais no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	174
Gráfico 34 –	Distribuição anual de Coliformes Termotolerante no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016	175
Gráfico 35 –	Distribuição de Dureza a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018	182
Gráfico 36 –	Identificação de Nitrito e Nitrato a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018	183
Gráfico 37 –	Correlação entre CE e STD a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018	185
Gráfico 38 –	Identificação de Coliformes Termotolerante a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018	186

Gráfico 39 –	Correlação entre Coliformes Totais e Coliformes Termotolerante, a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018	187
Gráfico 40 –	Concentração de efluentes das galerias que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina, no ano de 2018	193
Gráfico 41 –	Representação em percentual dos efluentes que caem diretamente no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018	194
Gráfico 42 –	Concentração de Condutividade elétrica nos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018	196
Gráfico 43 –	Concentração do Potencial Hidrogeniônico (pH) nos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018	197
Gráfico 44 –	Dispersão linear com linha de tendência da Condutividade Elétrica com pH dos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018	197
Gráfico 45 –	Concentração de Amônia, Nitrito e Nitrato dos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018....	199
Gráfico 46 –	Dispersão linear com linha de tendência de Nitrito e Nitrato dos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018	200
Gráfico 47 –	Diagrama mostrando os teores de ocorrência de cascalho, areia e lama em percentagem na calha do Rio Parnaíba , trecho urbano de Teresina-PI	204
Gráfico 48 –	Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	205
Gráfico 49 –	Diagrama de Shepard (1954), contendo os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimentos clásticos na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	206
Gráfico 50 –	Diagrama de distribuição da fração cascalho, em percentagem na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	207
Gráfico 51 –	Diagrama de distribuição da fração areia em percentagem na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	208
Gráfico 52 –	Diagrama de distribuição da fração lama em percentagem na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	209
Gráfico 53 –	Histograma de ocorrência do diâmetro médio da granulometria dos sedimentos do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	210
Gráfico 54 –	Histograma de ocorrência de mediana da granulometria dos sedimentos do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	211
Gráfico 55 –	Curva de frequência simples com distribuição simétrica: média e mediana são iguais, na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	212

Gráfico 56 –	Assimetria em conjunto de dados com as curvas muito negativa, negativa, muito positiva, positiva e aproximadamente simétrica	213
Gráfico 57 –	Distribuição granulométrica percentual do grau de assimetria, na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	213
Gráfico 58 –	Histograma de distribuição espacial do intervalo de assimetria segundo percentual, na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	214
Gráfico 59 –	Curva normal associada ao achatamento da distribuição, com comparações entre as curvas muito leptocúrtica, leptocúrtica, muito platicúrtica, platicúrtica e mesocúrtica	215
Gráfico 60 –	Distribuição granulométrica percentual da curtose na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI	216
Gráfico 61 –	Identificação das seções de batimetria ao longo do perfil latitudinal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina, no período seco de 2017	227
Gráfico 62 –	Identificação das seções de altimetria/batimetria dos depósitos aluviais ao longo do perfil latitudinal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina, no período seco de 2017	228
Gráfico 63 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção PCD, outubro de 2017	231
Gráfico 64 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Ponte Tabuleta, em outubro de 2017	232
Gráfico 65 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Gil Martins, outubro de 2017	234
Gráfico 66 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Valter Alencar, outubro de 2017	235
Gráfico 67 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Prainha, outubro de 2017	237
Gráfico 68 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Centro Administrativo, outubro de 2017	238
Gráfico 69 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Balão da CEPISA, outubro de 2017	240
Gráfico 70 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Ponte da Amizade, outubro de 2017	241
Gráfico 71 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Troca-Troca, outubro de 2017	243
Gráfico 72 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Ponte Metálica, outubro de 2017	244
Gráfico 73 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Iate Clube, outubro de 2017	246
Gráfico 74 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção UESPI, outubro de 2017	247

Gráfico 75 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção ETE-THE, outubro de 2017	248
Gráfico 76 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção AMI, outubro de 2017	250
Gráfico 77 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção MDH, outubro de 2017	251
Gráfico 78 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Lagoas do Norte, outubro de 2017	252
Gráfico 79 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção ETE Timon, outubro de 2017	254
Gráfico 80 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Horta, outubro de 2017	255
Gráfico 81 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Bar do Velhinho, outubro de 2017	256
Gráfico 82 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Encontro dos Rios, outubro de 2017	258
Gráfico 83 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Barra das Pombas, outubro de 2017	259
Gráfico 84 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Sede Agrícola, em outubro de 2017	261
Gráfico 85 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Santa Rosa, em outubro de 2017	262
Gráfico 86 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Parque Brasil, em outubro de 2017	263
Gráfico 87 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Curva Poti, em outubro de 2017	265
Gráfico 88 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Beira Rio, em outubro de 2017	266
Gráfico 89 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Porto, em outubro de 2017	268
Gráfico 90 –	Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Fazenda São Gonçalo, em outubro de 2017	269

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Coluna estratigráfica com indicação da litologia predominante das Formações geológicas - Piauí e Pedra de Fogo, na porção Meio-Norte da Bacia do Parnaíba – área Teresina	46
Quadro 2 –	Série histórica de medidas anuais de defluência da usina de Boa Esperança e vazão do Rio Parnaíba em Teresina	64
Quadro 3 –	Classificação das classes de declividade segundo EMBRAPA (2009); IPT (1981)	76
Quadro 4 –	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina	89
Quadro 5 –	Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso...	91
Quadro 6 –	Classificação da qualidade da água utilizada nos estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	91
Quadro 7 –	Localização das coletas de águas para análise físico-químico e microbiológica no ano de 2018	103
Quadro 8 –	Nível de Perigo de Vulnerabilidade	106
Quadro 9 –	Análise de risco à Vulnerabilidade	107
Quadro 10 –	Fórmula para conversão de condutividade elétrica em sólidos totais dissolvidos	110
Quadro 11 –	Classificação da cobertura e uso da terra	116
Quadro 12 –	Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Sul – trecho urbano de Teresina	128
Quadro 13 –	Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Sul - trecho urbano de Teresina	129
Quadro 14 –	Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Centro - trecho urbano de Teresina	135
Quadro 15 –	Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Centro - trecho urbano de Teresina	136
Quadro 16 –	Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Norte 1 – trecho urbano de Teresina	141
Quadro 17 –	Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Norte 1 - trecho urbano de Teresina	142
Quadro 18 –	Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Norte 2 - trecho urbano de Teresina	148
Quadro 19 –	Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Norte 2 - trecho urbano de Teresina	148
Quadro 20 –	Estação de monitoramento do Rio Parnaíba na cidade de Teresina	151

Quadro 21 –	Parâmetros e seus padrões de qualidade. Resolução CONAMA 357/05	152
Quadro 22 –	Coefficiente de Correlação Linear de Pearson	176
Quadro 23 –	Caracterização morfoscópica dos grãos de areia com identificação dos minerais quartzo e metais pesados, no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina	219
Quadro 24 –	Localização e profundidade das seções batimétrica no canal do Rio Parnaíba	225

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Peso dos indicadores de vulnerabilidade	95
Tabela 2 –	Indicadores positivos e negativos de análise da vulnerabilidade ambiental	95
Tabela 3 –	Níveis de vulnerabilidade ambiental	96
Tabela 4 –	Variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade	119
Tabela 5 –	Indicadores ambientais do Setor Sul da cidade de Teresina	124
Tabela 6 –	Índice final de vulnerabilidade setor Sul	125
Tabela 7 –	Indicadores ambientais do Setor Centro	131
Tabela 8 –	Índice final de vulnerabilidade setor Centro	133
Tabela 9 –	Indicadores ambientais do Setor Norte 1	138
Tabela 10 –	Índice final de vulnerabilidade setor Norte	139
Tabela 11 –	Indicadores ambientais do Setor Norte 2	143
Tabela 12 –	Índice final de vulnerabilidade setor Norte 2	145
Tabela 13 –	Correlação de Pearson – Perigo, Risco e Vulnerabilidade	149
Tabela 14 –	Valores médios dos parâmetros determinados na análise da água do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina	154
Tabela 15 –	Correlação de Pearson feita com os parâmetros Nitrato, Pluviosidade, Vazão, Temperatura e pH (A) e com os parâmetros Coliformes Termotolerantes, Pluviosidade, Vazão, Temperatura e pH (B)	177
Tabela 16 –	Correlação de Pearson feita com os parâmetros Ferro, Pluviosidade e Vazão	177
Tabela 17 –	Valores médios dos parâmetros utilizados na análise da água do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina	178
Tabela 18 –	Índice de Qualidade da Água – IQA	179
Tabela 19 –	Parâmetros físico-químico e microbiológico da água coletada em 2018 no canal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina-PI	180
Tabela 20 –	Concentração de efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018	193
Tabela 21 –	Amostras dos parâmetros físico-químico de águas servidas que caem no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina	201

LISTA DE ABREVIATURAS

AA.	Atividade Agrícola
Abr.	Abril
AC	Atividade Comercial
Ago.	Agosto
Art.	Artigo
BRA	Brasil
Dez.	Dezembro
Dr.	Doutor
E	Leste
Fev.	Fevereiro
IF/IS	Fratura Interior/Depressão Interior
GEOCI.	Geociências
Jan.	Janeiro
Jul.	Julho
Jun.	Junho
LS	limite inferior
m	metro
MA	Maranhão
Mai	Mai
Mar.	Março
mm	Milímetro
mm _a	milímetro por ano
N	Norte
N-S	Norte/Sul
n ^o	Número
NE-SW	Nordeste/Sudoeste
Nov.	Novembro
Org.	Organização
Out.	Outubro
P	Ponto
p.	Página
PC	Plantio Consorciado
PE	Perigo Estimado

PH	Plantio Heterogêneo
PI	Piauí
S	Sul
SE	Solo Exposto
seq.	Sequência
Set.	Setembro
W	Oeste

LISTA DE SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS
AGESPISA	ÁGUAS E ESGOTOS DO PIAUÍ S.A.
AMI	ACADEMIA MELHOR IDADE
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
APHA	AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION
APP	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
BID	BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO
CE	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
CECR	CONCENTRAÇÃO DE EFLUENTES DE CORPO RECEPTOR
CEPISA	COMPANHIA ENERGÉTICA DO PIAUÍ
CETESB	COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
CHESF	COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO
CODEVASF	COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA
CODIPI	COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DO PIAUÍ
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CPRM	SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DNOCS	DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS
EDTA	ETHYLENEDIAMINE TETRAACETIC ACID
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
ETA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
ETE	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
FAT	FUNDO DE AMPARO AO TRABALHADOR
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
IAEE	INSTITUTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
IBAMA	INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
IPT	INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
IQA	ÍNDICE GERAL DE QUALIDADE DA ÁGUA
ISDR	INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION

IVA	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL
LGGM	LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA
MDH	MONUMENTO DIREITO HUMANO
NMP	NÚMERO MAIS PROVÁVEL
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
OEА	ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS
PCD	PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
PLANAP	PLANO DE AÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DA BACIA DO PARNAÍBA
PMT	PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
RGB	RED, GREEN, BLUE
RIDE	REGIÃO INTEGRADA DE DESENVOLVIMENTO
SEMPLAN	SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO
SRM	SUPERFÍCIE REGRESSIVA MARINHA
SRTM	SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION
STD	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS
STF	SÓLIDOS TOTAIS FIXOS
STM	SUPERFÍCIE TRANSGRESSIVA MARINHA
STV	SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS
SUDENE	SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE
TM	THEMATIC MAPPER
TSNA	TRATO DE SISTEMAS DE NÍVEL DE MAR ALTO
TSNB	TRATO DE SISTEMAS DE NÍVEL DE MAR BAIXO
TSRF	TRATO DE SISTEMAS DE REGRESSÃO FORÇADA
TST	TRATO DE SISTEMAS TRANSGRESSIVO
UE	UNIVERSIDADE ESTADUAL
UFC	UNIDADES FORMADORAS DE COLÔNIAS
UFPE	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
UFPI	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
UNDP	UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME
UNT	UNIDADE NEFELOMÉTRICA DE TURBIDEZ
USEPA	UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
VMP	VALOR MÁXIMO PERMITIDO

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau <i>Celsius</i>
cm	Centímetro
Km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
MW	Megawatt
Ma	Milhões
Σ	Somatório
√	Raiz quadrada
π	Proporção numérica
[]	Colchete
()	Parêntese
/	Divisão
+	Adição
=	Igual
×	Multiplicação
φ φ	Phi
μ S/cm	Microsiemens por centímetro
H ⁺	Acido
±	Mais ou menos
mg/L	Miligramma por litro
AgNO ₃	Nitrato de prata
K ₂ CrO ₄	Cromato de potássio
μS	Microsiemens
ml	Milímetro
NH ₄ ⁺	Amônia
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
H ₂ O	Água
m ³ /h	Metros cúbico por hora
m ²	Metro quadrado

K^+	Potássio
Cl^-	Cloro
Na^+	Sódio
Ca^{+2}	Cálcio
Mg^{+2}	Magnésio
HCO_3^-	Bicarbonatos
CO_3^{-2}	Carbonatos
$CaCO_3$	carbonato de cálcio
Fe^{+3}	Férrico
Fe^{+2}	Ferroso
\leq	Menor que
\geq	Maior que
SiO_2	Quartzo
\circ	Grau

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	33
1.1	OBJETIVOS	36
2	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA	38
2.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	38
2.2	GEOLOGIA REGIONAL	40
2.3	GEOLOGIA LOCAL	44
2.3.1	Os sedimentos do canal e a formação de estruturas	60
2.3.2	Relação entre a vazão do Rio Parnaíba e os depósitos sedimentares no canal	63
2.3.3	Defluências médias anuais totais da Usina de Boa Esperança	65
2.3.4	Vazões médias anuais em Teresina	66
2.3.5	Grau de correlação entre defluências totais da Usina de Boa Esperança e vazão do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina ..	67
2.4	ASPECTOS GERAIS DA ÁREA	68
2.4.1	A formação do Sítio Urbano de Teresina	69
2.4.2	Metropolização de Teresina	71
2.4.3	Urbanização em Teresina e o Rio Parnaíba	71
2.4.4	Caracterização ambiental	73
2.4.4.1	Compartimentação Geomorfológica de Teresina	74
2.4.4.2	Declividade	76
2.4.4.3	Clima	79
2.4.4.4	Vegetação	80
2.4.4.5	Hidrografia	83
3	MATERIAIS E MÉTODOS	87
3.1	ETAPA PRELIMINAR	87
3.1.1	Cartografia	87
3.1.2	levantamentos de dados dos parâmetros físico-químico e microbiológico da água	88
3.1.3	Batimetria	92
3.1.4	Sedimentologia	93
3.1.5	Vulnerabilidade	93
3.1.6	Concentração e qualidade de efluentes no corpo receptor	97
3.2	TRABALHOS DE CAMPO	98

3.3	ETAPA DE LABORATÓRIO	105
3.3.1	Análise da vulnerabilidade Ambiental	105
3.3.2	Análise da sedimentologia	107
3.3.3	Procedimentos utilizados para realização da análise das amostras de água desenvolvido no ano de 2018	108
3.3.4	Metodologia utilizada na realização da análise das amostras de efluentes lançados no Rio Parnaíba em 2018	111
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	113
4.1	VULNERABILIDADE DO RIO PARNAÍBA EM RELAÇÃO A APP..	113
4.1.1	A classificação da vulnerabilidade do Rio Parnaíba	115
4.1.1.1	Setor Sul	123
4.1.1.2	Setor Centro	130
4.1.1.3	Setor Norte 1	137
4.1.1.4	Setor Norte 2	143
4.2	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARNAÍBA	150
4.2.1	A classificação e a rede de monitoramento das águas fluviais	150
4.2.2	Parâmetros utilizados pela AGESPISA	152
4.2.3	Características físicas da água	156
4.2.4	Características químicas da água	160
4.2.5	Características microbiológicas	173
4.2.6	Análise de correlação entre as variáveis físico-química e microbiológica a partir do coeficiente de Correlação de Pearson	176
4.2.7	Índice de Qualidade da Água – IQA	178
4.2.8	Características físico-químicas e microbiológicas das águas segundo dados de coletas e análise direta – 2018	179
4.3	A PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO HÍDRICA EM TERESINA	187
4.3.1	Análise quantitativa dos efluentes do Rio Parnaíba	187
4.3.2	Análise dos parâmetros físico-químicos para avaliação quantitativa dos efluentes estudados do Rio Parnaíba	194
4.4	SEDIMENTOLOGIA DO RIO PARNAÍBA	203
4.4.1	Análises dos sedimentos de fundo do canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina	204
4.4.2	Análise morfooscópica	216
4.4.2.1	Caracterização morfooscópica por amostragem encontrado no estudo	218
4.4.3	Considerações parciais	222
4.5	BATIMETRIA DO RIO PARNAÍBA	224

4.5.1	Introdução a descrição batimétrica	224
4.5.2	Conclusões parciais dos estudos de batimetria	269
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	271
5	CONCLUSÃO	278
	REFERÊNCIAS	284

1 INTRODUÇÃO

A morfologia do Rio Parnaíba na cidade de Teresina (PI), está em constante transformação, já que o mesmo sofre com os agentes modificadores internos e externos. No entanto, sua dinâmica será ativa desde que se caracterize como tal. Segundo Popp (2013), os rios transportam material por solução, suspensão e arrasto, ou ainda por rolamento e salto. Tal domínio configura uma dinâmica ativa provocando modificação em sua estrutura.

A dinâmica do rio se desenvolve de acordo com sua estrutura. Suguio (2003), diz que o ambiente fluvial reflete como um dos mais importantes agentes geológicos com grande relevância no modelado do relevo. Isso é explicado devido as fases que o rio desenvolve, fase juvenil, a maturidade e fase senil. Suguio (2003), ainda explica as fases destacando que, a fase juvenil está relacionada com as nascentes, representada por um rio configurado em ‘V’, tem fluxo torrencial, porém, com poucos sedimentos, contudo, muito grosseiro, a fase de maturidade se desenvolve na parte intermediária do rio, tem uma diminuição de gradiente, resultante de vales mais largos, já a fase senil, se desenvolve na desembocadura do rio, e é caracterizada por planícies de inundação. Tais características perseveram devido as formas de relevo e das feições geológicas existentes na superfície da Terra.

A erosão, o transporte e a deposição dos sedimentos dependem de uma série de fatores controladores e são fundamentais para a morfologia do canal do rio, sendo que a ação fluvial altera a dinâmica do rio e sua topografia. A fisiografia fluvial é percebida através do leito, do canal e da rede de drenagem (CUNHA, 2007). Como se observa, os rios modificam constantemente sua forma, isso é possível devido o movimento de sedimentos e depósitos principalmente na calha do rio. De acordo com Teixeira (2003), os fatores controladores da variação na descarga e o tipo de carga sedimentar em um rio varia conforme as condições climáticas, sendo que em climas tropicais onde a cobertura vegetal é mais abundante e o nível freático é mais próximo da superfície há retenção dos clastos mais grossos e transporte das partículas de granulometria fina. Deve-se acrescentar que a velocidade das correntezas da água influencia as cargas transportadas.

Todavia, a velocidade das águas de um rio depende de vários fatores, especificamente, da declividade do perfil longitudinal, volume das águas, forma da secção transversal, coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água (CUNHA, 2007). Logo, um fluxo acelerado altera o processo erosivo de um rio, assim como o transporte e deposição de sedimentos.

Suguio (2003), admite que as leis da hidrodinâmica comandam o deslocamento e a deposição dos sedimentos fluviais. É dessa relação que se propõem discutir a dinâmica de sedimentos do trecho urbano do Rio Parnaíba na cidade de Teresina – PI. Uma forma de verificar o trabalho realizado pelo rio, já que a morfologia do canal se configura com características erosivas e de deposição de sedimentos com influência dos agentes ambientais em sua modelagem.

A título de exemplo de um sistema fluvial cuja morfologia é representada por uma relação complexa com diferentes processos de sedimentação, tem-se destacado a dinâmica fluvial do Parnaíba, considerando que em seu circuito geral é identificado problemas com as peculiaridades significativas em sua calha.

Partindo deste princípio, é possível relatar a problemática relacionado à diminuição da vazão do Rio Parnaíba e o acúmulo de sedimentos na calha do mesmo, sabendo que este trecho se inclui na categoria de um estádio na porção intermediária do vale. Devendo estar em equilíbrio aproximado entre erosão e sedimentação (SUGUIO, 2003). No entanto, esta parte do rio não se configura como um vale em equilíbrio, já que é visível o aumento de banco de sedimentos em sua calha, provocando a redução de sua profundidade. Diante desse problema, ressalta-se a necessidade de analisar a dinâmica fluvial através de três vertentes, aspectos ambientais, sedimentologia e batimetria do rio evidenciando as influências externas e internas sobre o canal.

As técnicas utilizadas balizam-se na perspectiva de determinação que corresponde à caracterização do canal do rio. As três avaliações mencionadas, aspectos ambientais, sedimentologia e batimetria, define a análise com significância estatística, cujas particularidades são identificadas a partir da área de estudo.

A primeira vertente constitui-se da verificação da vulnerabilidade do rio e da análise de suas águas, pelo qual, suas características física, química e microbiológica estabelecem uma leitura sobre a concentração de elementos cuja presença define as condições de qualidade da água. Mason (p. 245, 1971), aponta que “as águas terrestres são geoquimicamente importantes porque são responsáveis pela maior parte do intemperismo e da erosão das massas terrestres.”

O segundo aspecto consiste na análise sedimentológica, na qual avalia-se os sedimentos do Rio Parnaíba através da caracterização física, que propõe compreender a hidrodinâmica presente no canal, além dos agentes responsáveis pelo seu transporte. Nesse contexto, Tucker, (1989), associa a dependência de um grão de areia a vários fatores, justificando sua morfologia, primeiramente a mineralogia, a natureza da rocha geradora e o grau de intemperismo, seguido pelo grau de abrasão durante o transporte e pela corrosão durante a diagênese.

Para as avaliações aludida, os estudos batimétricos têm contribuído com investigações direta e indireta sobre as condições de descontinuidade do aspecto fisiográfico do canal do rio. Fernandes (p. 13, 1984), destaca que “em prospecção geofísica procura-se localizar interfaces, empregando, para essa finalidade, métodos de determinação do próprio parâmetro físico que as origina.”

Como se vê, os três estudos citados, apontam processos de alteração das rochas, justificando a dinâmica aparente da disposição do canal. As assertivas confirmam que a desintegração das rochas, promovida pelos agentes dos ambientes externo e interno, tem gerado problemas no transporte e na deposição de sedimentos, alterando assim a profundidade, expondo o rio à vulnerabilidade ambiental, a perigo natural e como resultado, a riscos a desastres naturais.

Considerando conjuntamente a miríade desses fatores, tem-se uma desconfiguração do sistema, desencadeando alterações profundas no processo natural. Em relação a sua capacidade, Christofolletti (1981), enfatiza que capacidade de um rio está relacionada a quantidade máxima de material que ele consegue transportar em seu leito.

Em virtude do significativo efeito do intemperismo, Suguio (2003), ressalta que o intemperismo causa a decomposição das rochas em ambiente subaquático, onde parte da rocha é dissolvida quimicamente e outra parte passa para a suspensão em estado coloidal, junto com fragmentos minerais mais estáveis. Todavia, os principais processos erosivos em sistemas fluviais estão associados à dinâmica dos canais fluviais.

Para Scherer (2008), as características geoquímicas presentes na água do rio, verificados através de estudos baseados nas propriedades da matéria orgânica e demais elementos químicos, justifica os ambientes de sedimentação em sua calha. Piveli e Kato (2005), afirmam que a turbidez quando sedimentada formam bancos de lodo no qual a digestão anaeróbica leva à formação de gases metano, gás carbônico, nitrogênio gasoso e gás sulfídrico. Isso pode configurar em uma mutação de genes dos animais e vegetais que se desenvolvem nas referidas águas, o que contribui para um problema ainda maior, já que o mesmo serve de fonte de alimentos e hídrico para as comunidades dos arredores.

Portanto, considera-se que o problema da formação dos bancos na calha do rio é resultado de um processo de sedimentação oriundo de sua dinâmica natural, no entanto, há uma aceleração na sedimentação, justificada por uma relação direta do sistema natural com as atividades antrópicas. E que a redução da vazão está relacionada com as barreiras desenvolvidas na calha do rio influenciando a concentração de elementos contaminantes.

Reconhece-se que trazer para o centro das discussões o problema dos depósitos de sedimentos na calha do Rio Parnaíba e mostrar como ele está impactando diretamente o fluxo de água, torna-se uma importante colaboração para tomada de decisão a respeito de políticas ambientais para a área de estudo. Discutir as vertentes que envolvem a dinâmica do rio e seu comprometimento com a disponibilidade de seus recursos tem reflexo direto na existência do fluxo do canal, já que os contaminantes dispersos em suas águas alteram sua disponibilidade à sociedade da qual a utiliza.

Diante disso, é necessário um estudo mais complexo sobre os aspectos geoquímicos e ambientais, a sedimentologia e batimetria na parte urbana do Rio Parnaíba. É com essa finalidade que tal investigação está norteada para uma contribuição de cunho científico no sentido de fornecer consideráveis informações a sociedade, ao governo, as empresas públicas e privadas, e as Ongs. Podendo se favorecer da discussão sobre a dinâmica do rio e a partir de então, rever políticas de sustentabilidade.

Por outro lado, negligenciar o problema do rio, pode agravar o cenário ambiental e comprometer toda a cadeia. Enfim, se constatando os causadores da degradação do rio e utilizando destes dados para inverter a situação é possível que o mesmo permaneça ativo por muito tempo.

Em suma, dever ser lembrado que a dinâmica de sedimentos ocasiona no aspecto fisiográfico do rio uma elevação dos depósitos sedimentares que de forma direta ou indireta está relacionado com a velocidade do fluxo da água.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral foi avaliar o grau de vulnerabilidade ambiental e contaminação do Rio Parnaíba, com base em sua história geológica, estudos ambientais e caracterização sedimentológica, e batimetria no trecho urbano do Rio Parnaíba, em Teresina.

Para fins de desenvolvimento da tese propôs-se como objetivos específicos caracterizar a geologia regional e local, mostrando as diferenças estruturais das formações geológicas da área de estudo. Um segundo objetivo proposto foi avaliar o grau de vulnerabilidade ambiental do Rio Parnaíba, tendo como base a Resolução CONAMA 357/05. Na perspectiva de contaminação, analisar os dados físico-químicos e microbiológicos das águas do rio e dos efluentes, considerados importantes influenciadores das condições ambientais do canal. Por conseguinte, avaliar através de estudos sedimentológicos das condições do substrato do ambiente fluvial, incluindo a descrição das ocorrências de depósitos arenosos através de

batimetria, para que se compreenda as alterações provocadas pela presença de estruturas emersas e submersas do canal do Rio Parnaíba.

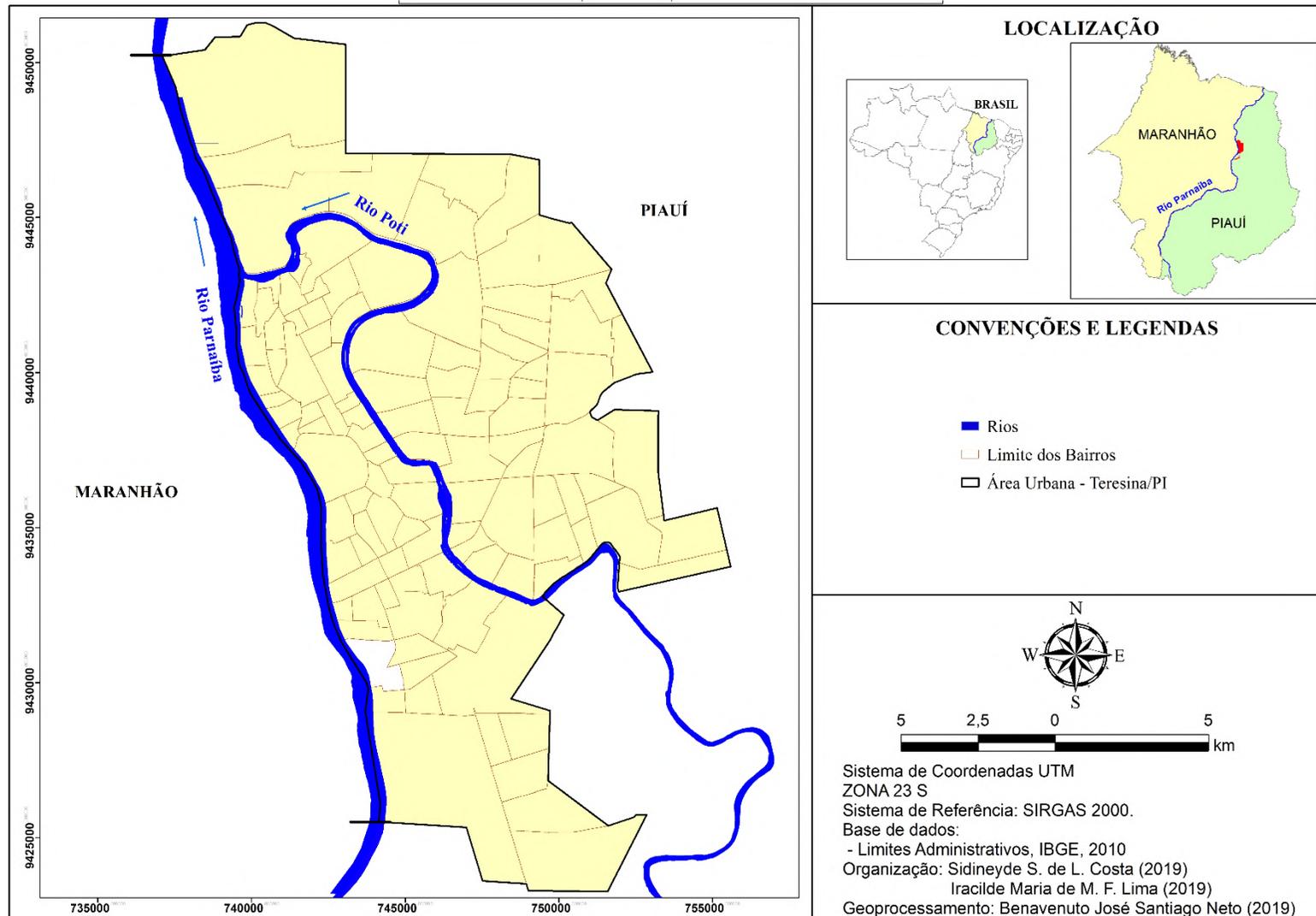
2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA

Este capítulo aborda alguns aspectos fisiográficos do Rio Parnaíba destacando a área de estudo. A apresentação dos aspectos fisiográficos possibilita uma visão geral do quadro natural e facilita a compreensão das particularidades desse sistema ambiental.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo encontra-se localizada na seção Meio Norte do Estado do Piauí, mais precisamente, no trecho do Rio Parnaíba adjacente à área urbana da cidade de Teresina, compreendida entre as coordenadas 9425399,117 N / 744345,517 E, e 9449207,762 N / 736947,023 E (FIGURA 1).

Figura 1. Mapa de localização – Teresina (Piauí) – área urbana



Fonte. Costa; Lima (2019)

2.2 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Parnaíba está situada no interior continental da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA et al., 2000). A Província Parnaíba tem uma área de 600.000 km² (SILVA et al., 2003). Sua base, compõe-se de maciços arqueanos (Granja e Goiás), crátons sinbrasilianos (São Luís e Núcleo Cratônico Central), cinturões orogênicos brasilianos (Gurupi, Araguaia e terrenos da Província Borborema) (NUNES, 1993).

Essa Província compreende quatro sítios deposicionais separados por discordâncias: Bacia do Parnaíba, Bacia das Alpercatas, Bacia do Grajaú e Bacia do Espigão-Mestre (GÓES, 1995).

A Bacia do Parnaíba é do tipo IF/IS (Fratura Interior/Depressão Interior) (SILVA et al., 2003). Segundo os mesmos autores, ela ocupa cerca da metade da província na parte centro-sul. Foi implantada sobre os riftes cambro-ordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato.

No fim do evento do Ciclo Brasileiro, durante a transição do Cambriano para o Ordoviciano, o resfriamento e a contração da litosfera favoreceram a formação de falhas normais e a ativação de antigas estruturas lineares, contribuindo para o aparecimento de um quadro tectônico e estrutural dominado por extensos falhamentos normais e fossas desenvolvidas ao longo de zonas de fraqueza crustal anteriormente instaladas (FERNANDES, 2011).

Com relação ao arcabouço estrutural da Bacia do Parnaíba, tem-se uma sedimentação no pós-ordoviciano fortemente influenciada pelo período terminal do Ciclo Brasileiro, cujos pulsos propiciaram a formação de grábens distribuídos por toda a área (GÓES et al., 1990, VAZ et al., 2007). Segundo Cunha (1986), no interior da Bacia do Parnaíba, o Lineamento Transbrasiliano é demarcado por falhas orientadas no sentido NE-SW que cortam seções paleozoicas e mesozoicas, bem como por diques de diabásio orientados no mesmo sentido.

No que tange a evolução tectônica da Bacia, Zalán (2004), afirma que as sedimentações paleozoicas se desenvolveram em extensas sinéclises, tiveram como base uma plataforma consolidada a partir de colagens de placas tectônicas isoladas, cuja união aconteceu no Ciclo Brasileiro, acompanhada de todos os eventos deformacionais, metamórficos, ígneos, sedimentares e geomorfológicos típicos de orogêneses.

A Bacia do Parnaíba é intracratônica, sua formação iniciou como fratura interior continental, no Cambro-Ordoviciano, passando a sinéclise interior continental, a partir do Siluriano (FIGUEIREDO & RAJA GABAGLIA, 1986). Segundo Almeida e Carneiro (2004),

a Bacia desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o Estádio de Estabilização da Plataforma Sul-Americana. Todavia, é possível que a origem ou subsidência inicial da Bacia do Parnaíba esteja ligada às deformações e eventos térmicos fini- e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro ou ao Estádio de Transição da plataforma.

Para Vaz *et al.* (2007), do Neocarbonífero ao Jurássico, os depocentros deslocaram-se para o centro da bacia, e sua forma externa tornou-se ovalada, caracterizando-se como uma sinéclise interior. Conforme o mesmo autor, os movimentos eustáticos do nível do mar são os principais responsáveis pelas discordâncias entre as sequências, uma vez que a eustasia controla os ciclos transgressivos-regressivos.

Como resultado da evolução termomecânica da Bacia, estabeleceu-se uma sucessão de rochas sedimentares, anteriormente individualizada por meio da litoestratigrafia, estando disposta em cinco supersequências: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru), todas elas limitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia (VAZ *et al.*, 2007).

Neste contexto, destaca-se a sequência Siluriana que dá início a deposição de sedimentos na Bacia do Parnaíba com um ciclo transgressivo-regressivo completo, e está sobre rochas proterozóica ou sobre depósitos cambrianos (VAZ *et al.*, 2007). O Grupo Serra Grande é a unidade estratigráfica mais antiga da Bacia sedimentar do Parnaíba, composta de rochas clásticas, as áreas de maior ocorrência e espessura, em superfície, estão situadas nos flancos nordeste, leste e sudeste da bacia (SANTOS & CARVALHO, 2009). No entanto, ocorre em subsuperfície praticamente em toda extensão da Bacia, (VAZ *et al.*, 2007). Caputo & Lima (1984), relata que no Siluriano o depocentro da bacia estava situado a leste/nordeste. Em subsuperfície, as espessuras máximas estão na Formação Ipu com 350 metros, na Formação Tianguá, com 200 metros e na Formação Jaicós com 360 metros (GÓES & FEIJÓ, 1994).

A Formação Ipu é composta de folhelhos, siltitos cinzas e arenitos cinza-esbranquiçados intercalados, em muitas partes a unidade afina antes de chegar às atuais bordas, à exceção da região nordeste da bacia (CAPUTO *et al.*, 2005).

Em um segundo ciclo, Vaz *et al.* (2007), destaca a sequência Devoniana, composta pelo Grupo Canindé, que em subsuperfície, está presente quase em toda a área abrangida pela bacia, suas camadas, Formação Itaim, Formação Pimenteiras, Formação Cabeça, Formação Longá e Formação Poti, este último desenvolveu-se no Carbonífero, todos afloram nas regiões leste e sudoeste.

De acordo com Santo e Carvalho (2004), a Formação Itaim é resultado do acúmulo feito pelo aumento da lâmina d'água estabelecido por uma plataforma marinha proximal, batida por tempestades, é o limite inferior do sistema deposicional transgressivo na plataforma. Iniciada no Eoefeliano, é composta por camadas de arenitos finos a médios com grãos subarredondados, bem selecionados e com alta esfericidade (VAZ *et al.*, 2007). São recobertos por arenitos com estratificações cruzadas do tipo *hummockys*, da parte basal da Formação Pimenteira (FONSECA & MELO, 1987; DELLA FÁVERA, 1990).

Da mesma forma, Vaz *et al.* (2007), coloca que a Formação Pimenteiras é composta por folhelhos cinza-escuros a pretos, esverdeados, em parte bioturbados, são radioativos, ricos em matéria orgânica, representam a ingressão marinha mais importante da bacia. O mesmo autor coloca que o litotipo predominante na Formação Cabeças, forma-se de arenitos cinza-claros a brancos, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos, os diamictitos ocorrem eventualmente na parte superior. Caputo (1984), afirma que tilitos, pavimentos e seixos estriados indicam um ambiente glacial ou periglacial.

Conforme Santos e Carvalho (2004), a Formação Longá compõe-se de camadas de folhelhos bem laminados e siltitos bioturbados, na parte basal, os icnofósseis abundantes e uma fauna de invertebrados estão associados a folhelhos e siltitos, representam o início de uma sequência transgressiva, datada no Neofameniano. A parte média da formação é composta por arenitos amarelados a esbranquiçados, argiláceos com estratificações cruzadas e delgados leitos de calcários argilosos. O contato superior, com a Formação Poti, é, em geral, concordante e gradacional, embora possa ser localmente brusco (DELLA FÁVERA, 1990).

Os depósitos da Formação Longá são registros de um mar epicontinental, com ambiente deposicional variando de infranérítico nas unidades basais e superiores, a litorâneo nas seções médias. Os folhelhos laminados com estratificação cruzada *hummockys* indicam uma sedimentação mais profunda, com tempestades (SANTOS & CARVALHO, 2004).

Para a sequência estratigráfica do Carbonífero, a formação Poti é caracterizada por uma sucessão de estratos que pode ser dividido em duas porções, a inferior constituída de arenitos cinza esbranquiçados, médios, com lâminas dispersas de silito cinza-claros, e a superior de arenitos cinza, lâminas de siltitos e folhelhos com eventuais níveis de carvão (LIMA & LEITE, 1978).

Segundo o mesmo autor, a Formação Poti aflora nas bordas leste e oeste da bacia, com estratos orientados norte-sul, infletidos para sudeste e sudoeste, seguindo o contorno da bacia, esta formação está dividida em dois membros, depósitos inferiores e depósitos superiores. A parte inferior é constituída de arenitos cinza esbranquiçados, médios, com lâminas dispersas de

siltito cinza-claros, e a superior de arenitos cinza, lâminas de siltitos e folhelhos com eventuais níveis de carvão (LIMA & LEITE, 1978).

A sequência Neocarbonífera/Triássica, em subsuperfície, está presente numa extensa região da Bacia, com o pacote do Grupo Balsas, composto por quatro formações: Formação Piauí, Formação Pedra de Fogo, Formação Motuca e Formação Sambaíba.

Conforme Santos e Carvalho (2004), os sedimentos da Formação Piauí, que ocorrem nas bordas leste e oeste, ocupam ampla área da região centro-sul da mesma, acompanhando a direção dos estratos Paleozoicos, em faixas de direção norte-sul, que se estreitam para o norte. Vaz *et al.* (2007), explana sobre a divisão dessa formação, citada por Lima e Leite (1978), que a dividiram em duas partes, inferior, formada por arenitos cor-de-rosa, médios, maciços ou com estratificação cruzada de grande porte e intercalações de folhelho vermelho, e a parte superior, formada de arenitos vermelhos, amarelos, finos a médios, contendo intercalações de folhelhos vermelhos, calcários e finas camadas de sílex.

A Formação Pedra de Fogo aflora na parte centro-leste, centro-oeste e centro-sul da bacia, com eixo de deposição deslocado para oeste, a bacia emergiu no Permiano, originando uma sedimentação de domínio continental (MESNER & WOOLDRIDGE, 1964). Dino *et al.* (2002), descrevem a formação como uma variedade de rochas formadas por sílex, calcário oolítico e pisolítico creme a branco, eventualmente estromatolítico, intercalado com arenito fino a médio amarelado, folhelho cinzento, siltito, anidrita e, eventualmente, dolomito. Góes e Feijó (1994), acrescentam que foram depositados num ambiente marinho raso a litorâneo com planícies de sabkha, sob ocasional influência de tempestades.

Lima e Leite (1978), evidenciam que a Formação Motuca apresenta uma sequência constituída na base por arenitos finos a médios, róseos a esbranquiçados com grãos subarredondados a esféricos, foscas, friáveis, no topo apresenta folhelhos e siltitos arenosos vermelho-tijolo, com fraturas preenchidas pela aragonita, calcita e barita e níveis de sílica.

A Formação Sambaíba alcança 440 m de espessura máxima em subsuperfície, seus sedimentos são compostos por arenitos com estratificação cruzada acanalada, de grande porte caracterizando dunas eólicas, essa formação é afossilífera e corresponde ao final da desertificação da bacia (SANTOS & CARVALHO, 2004).

A sucessão das unidades litoestratigráficas continua com as Formações Mosquito e Pastos Bons no Jurássico. Góes (1995), profere que a Formação Mosquito é constituída por derrames basálticos no centro e oeste da bacia, estes derrames estão associados à fase pré-rifte da abertura do Atlântico Leste, após a ruptura do bloco afro-brasileiro, são intercalados com arenitos e correspondem ao ciclo de vulcanismo fissural, datado do Eo-Mesozóico.

A sequência Jurássica formada pela Formação Pastos bons corresponde a um ciclo de sedimentação de bacias do interior que compreende a sequência de lagos da margem leste (Asmus, 1984), de idade eocretácea.

No cretáceo as Formações Corda, Grajaú, Codó e Itapecuru, compõe uma nova sequência litoestratigráfica.

Para Santos e Carvalho (2004), a Formação Corda é uma sedimentação característica de ambiente desértico e fluvial de alta energia. É essencialmente formada por arenitos vermelhos, castanho-avermelhados, muito finos/finos e médios, semifriáveis a semicoesos, ricos em óxidos de ferro e zeólitas. Vaz *et al.* (2007), identifica estratificações cruzadas de grande porte, climbings transladantes e ripples, fluxos de grãos e outras estruturas típicas de dunas eólicas são comuns nessa unidade, ocorrem também estruturas cruzadas de baixo ângulo e cruzadas acanaladas.

Sedimentação de idade aptiana, a Formação Grajaú, pode ser representada pelas rochas aflorantes nas cercanias da cidade homônima – arenitos creme-claro/esbranquiçado, creme-amarelado ou tonalidades variadas, médios/grossos, subangulosos/angulosos, mal selecionados. Estruturas cruzadas acanaladas e marcas de carga são abundantes (VAZ *et al.*, 2007).

Segundo Santos e Carvalho (2004), a Formação Codó, correspondem aos estágios transgressivos pós-rifte. A primeira ocorrência é registrada no Aptiano, em inundações lacustres, que correlacionam as bacias interiores Sanfranciscana e Araripe, e as marginais do Cabo e Sergipe. No Albiano, uma rápida diversificação da fauna evidencia a inundação marinha. Sua sedimentação é composta por folhelhos, calcários, siltitos, gipsita/anidrita e arenito são os principais litotipos e são frequentes níveis de sílex e estromatólito (VAZ *et al.*, 2007)

De idade Albiano, ocorre a Formação Itapecuru, composta por camadas de arenitos vermelhos, finos a médios, com estratificações cruzadas do tipo acanalada, de pequeno porte e tabular planar, com conglomerados intercalados constituídos por seixos de quartzo imbricados, arenitos e matriz arenosa, indicam um fluxo unidirecional, foram reconhecidos como pertencentes a um sistema fluvial entrelaçado (*braided*). (SANTOS & CARVALHO, 2004).

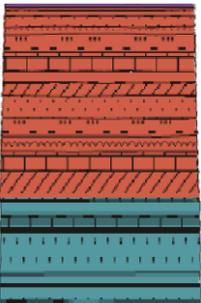
2.3 GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo enquadra-se exclusivamente em terrenos sedimentares da bacia do Parnaíba, onde ocorre um pacote clástico com idades que variam desde o Pennsylvaniano (Carbonífero) até o Lopingiano (Permiano) (CPRM, 2006).

De acordo com Santos e Carvalho (2009), à Época Pensilvaniano no Carbonífero, registra dois grandes eventos na bacia, um de natureza geológica, evidenciando a continentalização e desertificação, com deposição no final do Paleozoico e o outro de natureza biológica, que se caracteriza pelas manifestações de vida. Já no Permiano a bacia tende ao ressecamento devido as condições continentais áridas, com predomínio das fases regressivas, com climas adversos preservando assim os fósseis, as transgressivas marinhas modificam também esta fase. Ainda segundo as autoras, neste período ocorreu o último grande evento biológico do Paleozoico, na Bacia do Parnaíba, representado pelos troncos de madeiras silicificadas, preservados *in situ* no topo da Formação Pedra de Fogo documentando, assim, a pretérita existência de uma floresta tropical. No Período Carbonífero e no Permiano é finalizada a formação desta parte da Bacia que posteriormente é influenciada pela dinâmica tectônica e pelos agentes externos.

Nesta porção da Bacia do Parnaíba afloram duas unidades Geológicas: a Formação Piauí e a Formação Pedra de Fogo. De acordo com a carta estratigráfica do Parnaíba (Vaz *et al.*, 2007), os sedimentos desse pacote compõem do Grupo Balsas, onde está incluída a área de estudo, dos que corresponde as duas Formações mais antigas deste grupo. A coluna geológica representada no quadro 1, evidencia o tipo de litologia das formações Piauí e Pedra de Fogo.

Quadro 1 – Coluna estratigráfica com indicação da litologia predominante das Formações geológicas - Piauí e Pedra de Fogo, na porção Meio-Norte da Bacia do Parnaíba – área Teresina

BACIA DO PARNAÍBA													
Ma	GEOCRONOLOGIA				NW SE	NATUREZA DA SEDIMENTAÇÃO	AMBIENTE DEPOSICIONAL	DISCORDÂNCIAS	LITOESTRATIGRAFIA			ESPESSURA MÁXIMA (m)	SEQUÊNCIAS
	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE					GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO		
250	PALEOZOICO	PERMIANO	LOPINGIANO	CHANGHSINGIANO		MARINHO / CONTINENTAL	PLAT. RASA LITORÂNEO TEMPESTADES SABKHA	NEOTRIASSICA	BALSAS	PEDRA DE FOGO	240	NEOCARBONÍFERA-EOTRIÁSSICA	
				WUCHIAPINGIANO									
			GUADALUPIANO	CAPITANIANO									
				WORDIANO									
			ROADIANO										
			CISURALIANO	KUNGURIANO									
		ARTINSKIANO											
		SAKMARIANO											
		CARBOÍFERO	PENNSYLVANIANO	ASSELIANO									
				GZHELIANO									
				KASIMOVIANO									
				MOSCOVIANO									
	BASHKIRIANO												
300							FLUVIAL DESÉRTICO LITORÂNEO			PIAUI	340		
310													

Fonte. Recortada e adaptada de VAZ *et al.*, (2007); e MILANI *et al.*, (2007).

Sobre as glaciações paleozoicas no Brasil, Castro (2004) cita três episódios glaciais nas bacias sedimentares, todavia, constatou somente um evento na bacia do Parnaíba, a glaciação Neodevoniana, com ocorrência rara nos depósitos da Formação Cabeças.

Quanto aos depósitos do período Permiano, Milani *et al.* (2007), estudando as bacias sedimentares brasileira, observou que a Formação Pedra de Fogo se desenvolveu sob condições glaciais-periglaciais, num contexto marinho raso em clima árido, com seus depósitos de evaporitos.

Segundo os mesmos autores, as Formações Piauí e Pedra de Fogo são resultados de uma sinéclise, onde houve subsidência e sedimentação a partir da transgressão marinha.

Barbosa *et al.* (2016), analisando a Sequência Neocarbonífera-Eotriássica da Bacia do Parnaíba, elaboraram uma proposta de evolução estratigráfica, que teve início no Neocarbonífero e se estendeu até o Mesopermiano, englobando a Formação Piauí e parte da Formação Pedra de Fogo. Essa sequência é constituída por quatro tratos de sistemas: Trato de Sistemas de Nível de Mar Baixo (TSNB), Trato de Sistemas Transgressivo (TST), Trato de Sistemas de Nível de Mar Alto (TSNA) e Trato de Sistemas de Regressão Forçada (TSRF). Seu limite inferior (LS) corresponde à Discordância Mesocarbonífera.

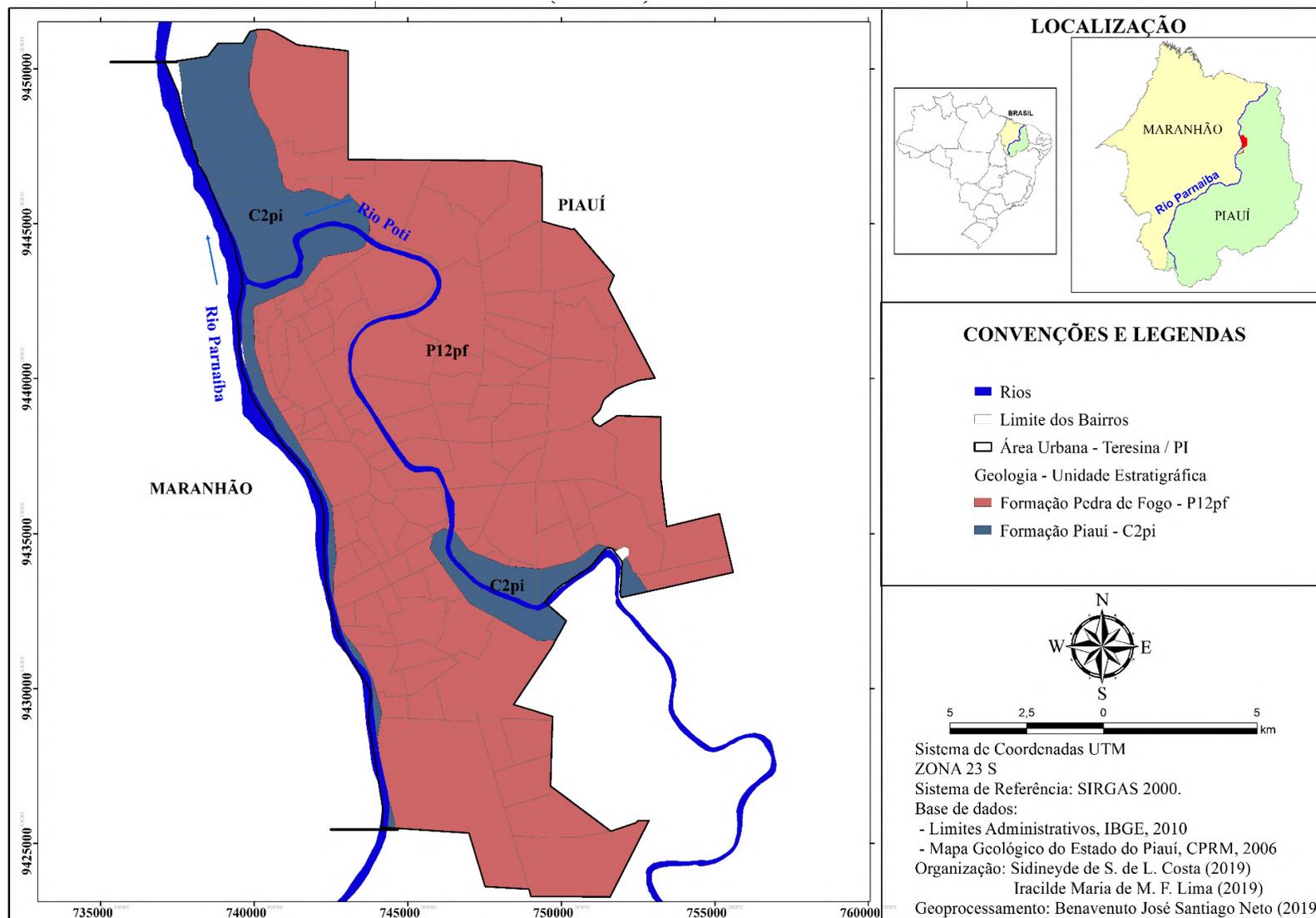
A sequência 2, depositada durante Neopermiano e o Eotriássico corresponde litoestratigraficamente ao topo da Formação Pedra de Fogo e à Formação Motuca por completo. No entanto, somente o primeiro trato, Trato de Sistema de Nível de Mar Baixo – TSNB, corresponde ao topo da Formação Pedra de fogo. Esse trato é representado predominantemente por ciclos de aumento da aridez para o topo (BARBOSA *et al.*, 2016).

A figura 2 ilustra a área urbana de Teresina sob o pacote da Formação Piauí e Formação Pedra de Fogo, com afloramento obedecendo sua deposição, da mais antiga para mais recente.

A Formação Piauí aflora nos leitos dos Rios Parnaíba e Poti, sendo bastante ativa a erosão fluvial, somente na porção meridional, na parte em que seu afloramento é recoberto por intrusivas básicas onde há o contato com a Formação Pedra de Fogo, camada acima da formação Piauí (LEAL, 1977).

Os depósitos dessa Formação são basicamente continentais, compondo-se de arenitos, em sua porção inferior e folhelhos, arenitos, anidrita, dolomitos e calcários fossilíferos, em sua porção superior (MESNER e WOOLDRIDGE *apud* LEAL, 1977). As camadas de calcários fossilíferos são provenientes das invasões marinhas que ocorreram somente na fase final de sua sedimentação.

Figura 2 – Mapa da Geologia local - Formações geológicas do trecho urbano de Teresina-PI



Org. Costa; Lima (2019). Base de dados: CPRM (2006) - Mapa Geológico do Estado do Piauí.

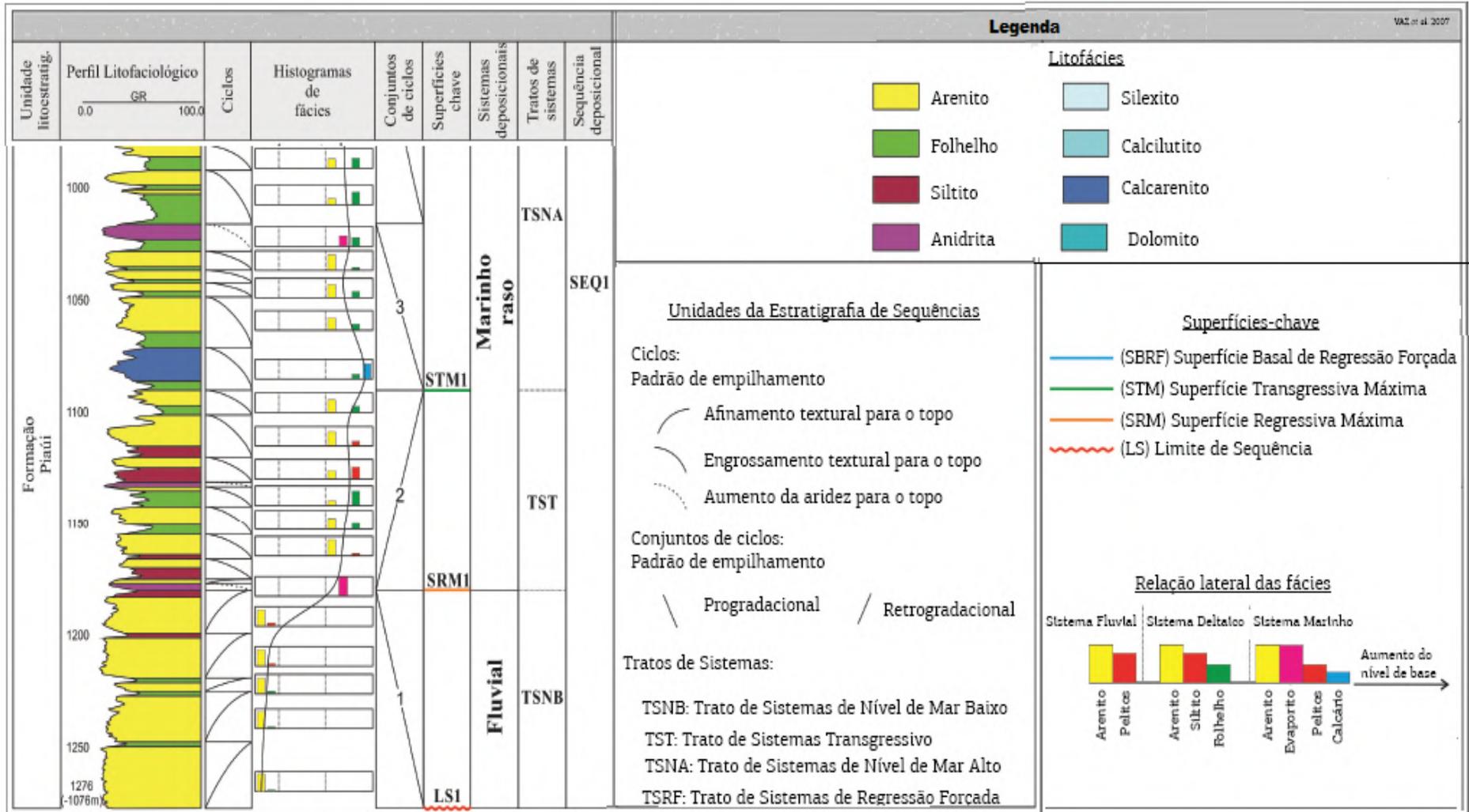
No Permiano e Triássico, há a deposição de sedimentos siltitos, folhelhos, arenitos e calcários e somente sua parte inferior é marinha, resquícios da transgressão marinha do Carbonífero (LEAL, 1977). De acordo com Santos e Carvalho (2009), a sedimentação da Formação Piauí se inicia com camadas de arenitos róseos de cor avermelhada e arroxeadada, com grãos foscos, estratificações cruzadas acanaladas, com lâminas em ângulos agudos, as superfícies de acamamento são de base quase horizontal, são identificadas como deposição de duna eólica, que intercalam estratificações plano-paralelas, apresenta ainda bancos de arenitos róseos, com estratificação cruzada acanalada distribuídos na parte inferior da formação.

A sequência estratigráfica da Formação Piauí é formada por três tratos de sistemas, segundo Barbosa *et al* (2016): Trato de Sistemas de Nível de Mar Baixo (TSNB), Trato de Sistemas Transgressivo (TST) e Trato de Sistemas de Nível de Mar Alto (TSNA), limitados por superfícies chave, Superfície Regressiva Marinha (SRM) e Superfície Transgressiva Marinha (STM).

Conforme mencionado, Barbosa *et al.* (2016), descreve cada trato:

- Trato de Sistemas de Nível de Mar Baixo (TSNB) - formado por vários ciclos fluviais, com espessura média de 22 m, exibindo um sutil afinamento textural para o topo. Cada ciclo inicia com espessas camadas de arenito na base, com média de 20 m, revestida por delgados níveis de folhelho e, raramente, de siltito. O fim da deposição do TSNB é marcado pela presença de uma delgada camada de calcário ou evaporito com cerca de 3 m de espessura (FIGURA 3).
- Trato de Sistemas Transgressivo (TST) - corresponde a primeira incursão marinha nessa sequência, é constituído por ciclos que, no geral, exibem um padrão de engrossamento textural para o topo, os quais iniciam com camadas de folhelho ou argilito e terminam com camadas de arenito ou calcarenito. Neste trato, os ciclos estão dispostos de forma a compor um conjunto, ostentando um padrão de empilhamento retrogradacional, indicado pela deposição de fácies cada vez mais distais, (FIGURA 3).
- Trato de Sistemas de Nível de Mar Alto (TSNA) – corresponde o final da deposição marinha durante a evolução da Sequência Neocarbonífera-Eotriássica. Os ciclos que formam esse trato apresentam uma tendência de engrossamento textural para o topo e iniciam, na base, com folhelhos ou siltitos, terminando com arenitos, calcários ou dolomitos. A progressiva regressão da linha de costa aliada a um aumento na aridez da região causou uma forte tendência de deposição de sedimentos evaporíticos (FIGURA 3).

Figura 3 – Sequência estratigráfica da Formação Piauí, mostrando o perfil litofaciológico, os ciclos, os histogramas de fácies, os conjuntos de ciclos, as superfícies-chave, os sistemas deposicionais e os tratos de sistemas interpretados



Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2016).

As superfícies chave, segundo os mesmos autores, representam a passagem de um sistema fluvial para um sistema litorâneo, Superfície Regressiva Marinha (SRM), separa o TSNB do TST e, Superfície Transgressiva Marinha (STM) limita o TST do TSNA, constitui-se de um nível de folhelho radioativos, está associado a camadas de calcários interpretadas como depósitos marinhos mais distais, conforme se observa na F 3. Esclarecem, ainda, que os conjuntos de ciclos que compõem esse trato de sistemas correspondem a um padrão de empilhamento progradacional.

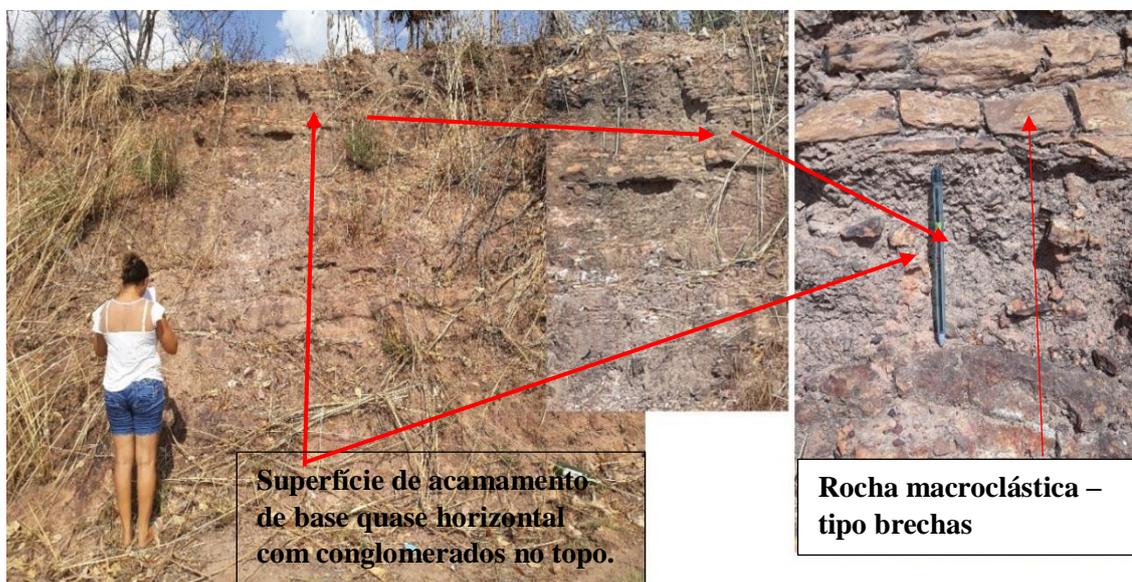
Contudo, pode-se observar que essa formação pode ser encontrada em duas porções da área urbana da cidade: zona sul, com um pequeno pacote, e zona norte, com uma extensão mais espessa, atravessando o rio Poti. Essa zona apresenta depósitos de ‘calcarenitos’ com folhelhos com acamamento lenticular, formados por camadas de lama. A parte superior do afloramento é constituída por calcário e evaporitos.

Os afloramentos da Formação Piauí estão detalhados nas figuras 4 e 5, fazendo parte do sítio urbano da cidade, zona sul e zona norte, respectivamente.

Os depósitos desse sistema, representado pela figura 4, demonstra uma forma geométrica tabular, de cor seca, cujo topo, apresenta um padrão de empilhamento de conglomerados, progradacional. Estratificação com acamamento plano e espessura variável. Exibindo camadas tabular decimétricas alternados a níveis finamente laminados.

Caracteriza-se como fácies com camada horizontal, apresentando marcas sobre a superfície da camada.

Figura 4 – Fotografia de afloramento da Formação Piauí - sistema deposicional com camadas intercaladas com lâmina de siltito e calcarenito – zona sul de Teresina

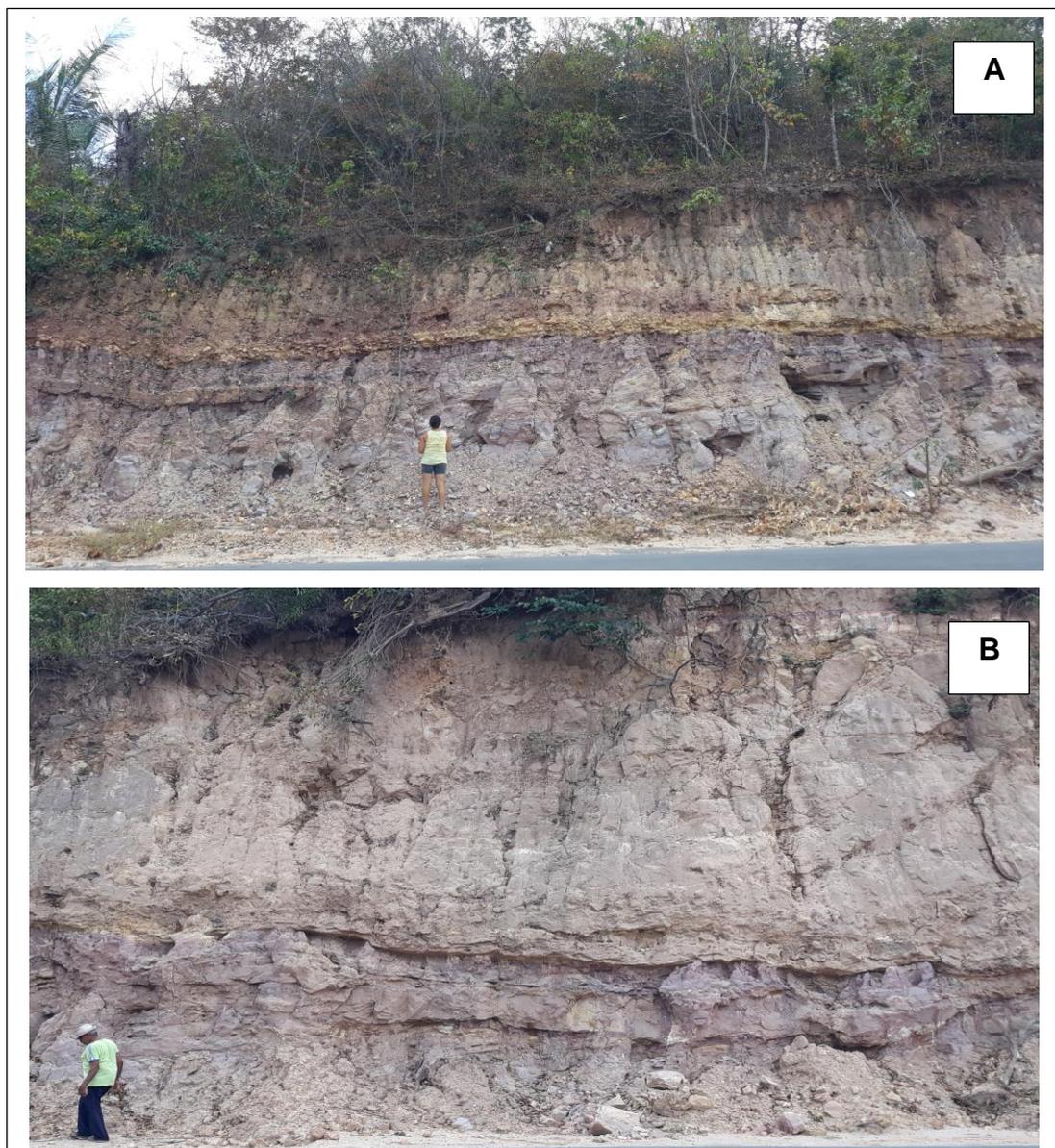


Fonte: Costa (nov. 2018).

A unidade litológica (figura 5) não apresenta uma regularidade na forma externa, mas denota uma cor molhada. Seu acamamento se caracteriza com uma passagem brusca ente as camadas onduladas, que apresentam espessuras variadas, com um baixo ângulo de inclinação paralela e perturbações das camadas em amarrotamento.

É uma sequência de camadas variando entre 1 metro e 2,7 metros intercaladas com um leito e lâmina de siltito. Conjunto de ciclos que representa espaço de acomodação restrito.

Figura 5 – Fotografia de afloramento da formação Piauí – sistema deposicional com camadas intercaladas com lâmina de siltito e calcarenito, no extremo norte da cidade de Teresina

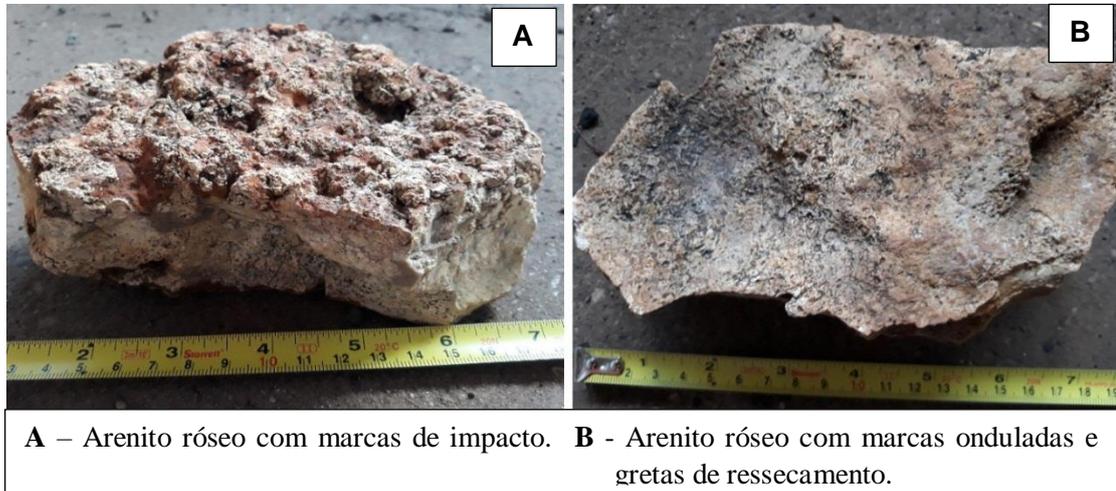


A - Camadas de calcarenitos com acamamento lenticular, folhelhos avermelhados e carbonatos argilosos creme, que intercalam marcas de onda e marcas de sulcos. **B** – Sobreposo de camadas produzindo fundo côncavo. Estratificação cruzada acanalada.

Fonte. Costa (ago. 2018).

A figura 6 ilustra amostras coletadas do membro superior da Formação, essas amostras são provenientes do bairro Parque Sul, zona sul de Teresina, correspondem arenitos róseos.

Figura 6 – Fotografia de amostras de estrutura erosionais e deposicionais - arenito róseo com marcas de impacto e marcas onduladas



Fonte. Costa (ago. 2018).

Lima e Leite (1978), colocam que no período de sedimentação houve breves invasões marinhas e, de forma geral, pode-se dizer que durante a deposição desta formação a área sofreu movimentos epirogênicos, embora não tenham se encontradas referências a esses eventos na área de Teresina.

A segunda formação do Grupo Balsas, a Formação Pedra de Fogo, com idade de cerca de 300 a 250 Ma. anos, aflora em quase toda a área de estudo. Leal (1977), relata que a Formação Pedra de Fogo contorna o vale principal do Parnaíba, na margem maranhense, enquanto a nordeste de Teresina caracteriza-se muito fragmentada, com formação de colinas, se espalhando sobre o topo da Formação Piauí. Essa unidade se distribui na região central da Bacia do Parnaíba, formando uma faixa de direção Leste-Oeste de aproximadamente 600 km (ARAÚJO, 2015).

De acordo com Santos e Carvalho (2009), a sedimentação é de domínio continental com influências de variações eustáticas. O mesmo relata uma sequência sedimentar que caracteriza essa Formação, da qual é iniciada por arenitos róseos de granulação bimodal, com estratificação cruzada de grande porte configurando dunas gigantes com base plana, intercalam na base níveis de oncólitos e para o topo arenitos róseos de grã fina, no topo os arenitos de granulação fina são vermelhos e intercalados com argilitos vermelhos, tem uma sequência transgressiva, com os sedimentos pelíticos de ambientes subaquáticos sob influências onde ocorrem os níveis de atividade orgânica.

Conforme Barbosa *et al.* (2016), a sequência estratigráfica da Formação Pedra de Fogo é formada por dois tratos de sistemas: TSRF e TSNB, limitados pela superfície chave, LS, descritos a seguir:

- Trato de Sistemas de Regressão Forçada (TSRF) - Finaliza a sedimentação da fase de regressão normal da sequência. Essa superfície é caracterizada pela passagem de espessas camadas de anidrita, depositadas em um ambiente marinho raso conferido ao TSNA, para litofácies essencialmente siliciclásticas. Esse trato se caracteriza por ciclos deltaicos com padrão de engrossamento textural para o topo, os quais iniciam com camadas de folhelho ou siltitos na base e terminam com camadas de arenito no topo ou, localmente, um calcário. Os ciclos constituem-se de conjuntos com padrão de empilhamento progradacional, caracterizados por um aumento gradual nos intervalos arenosos (possíveis fácies de frente deltaica) em relação aos pelíticos (fácies de prodelta) desde o início até o término do TSRF. A porção superior do TSRF é caracterizada por uma maior quantidade de camadas de arenito, que podem representar barras de desembocadura de frente deltaica, as quais se encontram sobrepostas discordantemente por uma sucessão de delgadas camadas de calcário e pelito (FIGURA 7).
- Limite de sequência – é a transição do sistema deltaico, representada pelo TSRF da SEQ1, para um ambiente lacustre/desértico com *sabkhas* associadas, relacionado ao início da deposição da SEQ2, sobre discordância Neopermiana (FIGURA 7).

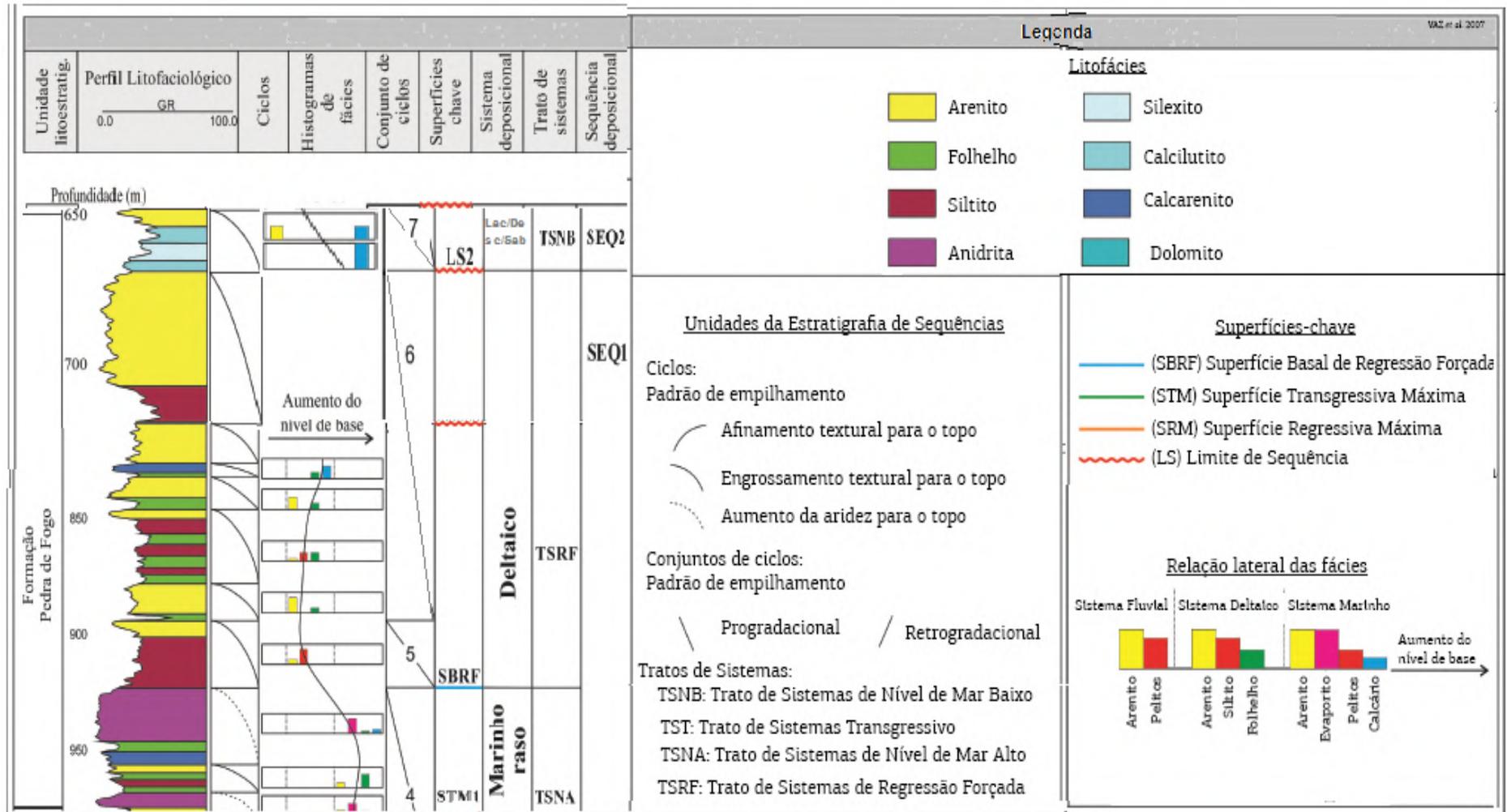
Deve-se observar que o depósito litoestratigraficamente da SEQ2, no Neopermiano corresponde ao topo da Formação Pedra de Fogo e à Formação Motuca por completo (BARBOSA *et al.*, 2016).

- Trato de Sistema de Nível de Mar Baixo (TSNB) – corresponde a ciclos de aumento da aridez para o topo, os quais iniciam com rochas carbonáticas ou folhelhos na base e terminam com camadas de evaporito no topo. Os ciclos foram denominados, aqui progradacional (FIGURA 7).

Enfim, os afloramentos da Formação Pedra de Fogo em Teresina têm em sua base arenitos de coloração róseo com concreções de clastos com sequência de arenitos avermelhados e amarelados intercalados com calcário e no seu topo uma base com sedimentos pelíticos.

Os processos erosivos e deposicionais atuam para configuração externa dessa formação. As figuras 8 e 9 são cortes em via pública na zona sul de Teresina caracterizada por camadas de estratificação cruzada, de deposição de arenitos róseos intercalados por calcários.

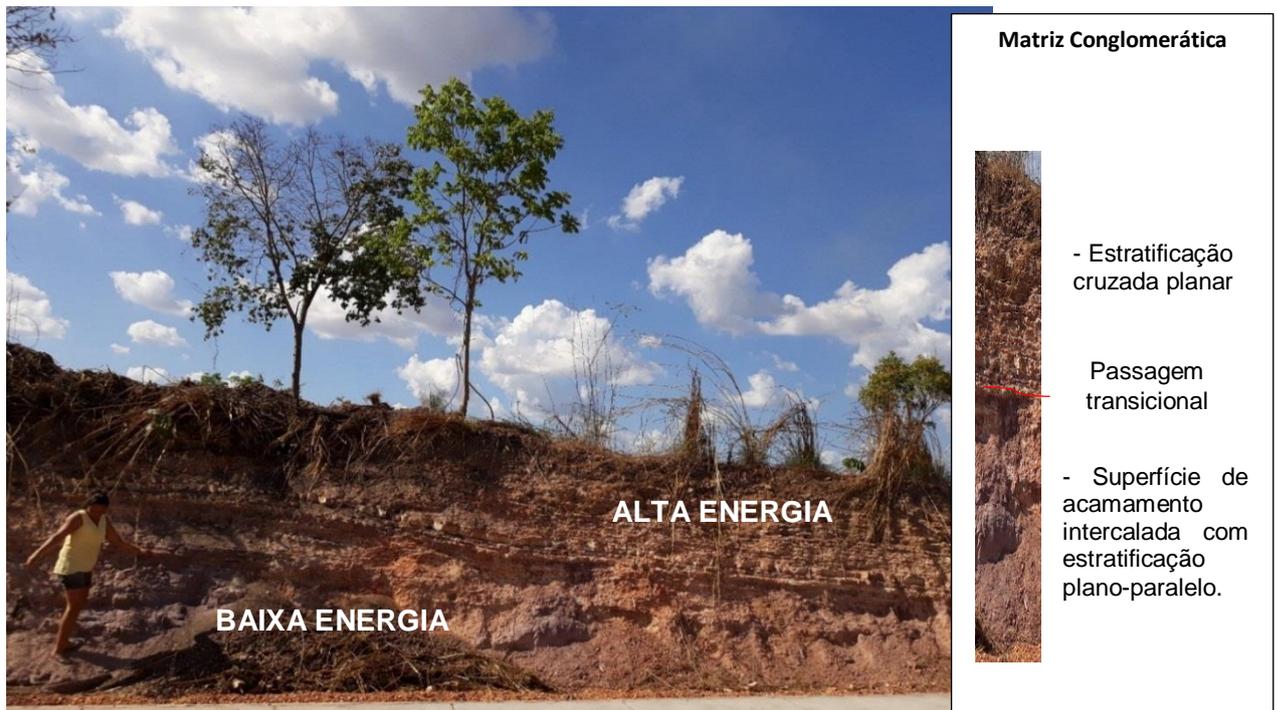
Figura 7 – Sequência estratigráfica da Formação Pedra de Fogo, mostrando o perfil litofaciológico, os ciclos, os histogramas de fácies, os conjuntos de ciclos, as superfícies-chave, os sistemas deposicionais e os tratos de sistemas interpretados



Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2016).

A forma externa da unidade litológica da Formação Pedra de Fogo, demonstrada pela figura 8, corresponde a uma não regularidade, aparentando cor molhada. Apresenta estratificação de espessura variável, com uma passagem transicional entre as camadas sedimentares. A atitude das camadas é horizontal, paralela. As perturbações das camadas da base se caracterizam por amarrotamento.

Figura 8 – Fotografia de Afloramento da Formação Pedra de Fogo, laminação horizontal com estruturas perturbadas – Alta energia e Baixa energia. - Zona sul de Teresina-PI, entre os bairros Irmã Dulce e Angelim (Conjunto Mário Covas)

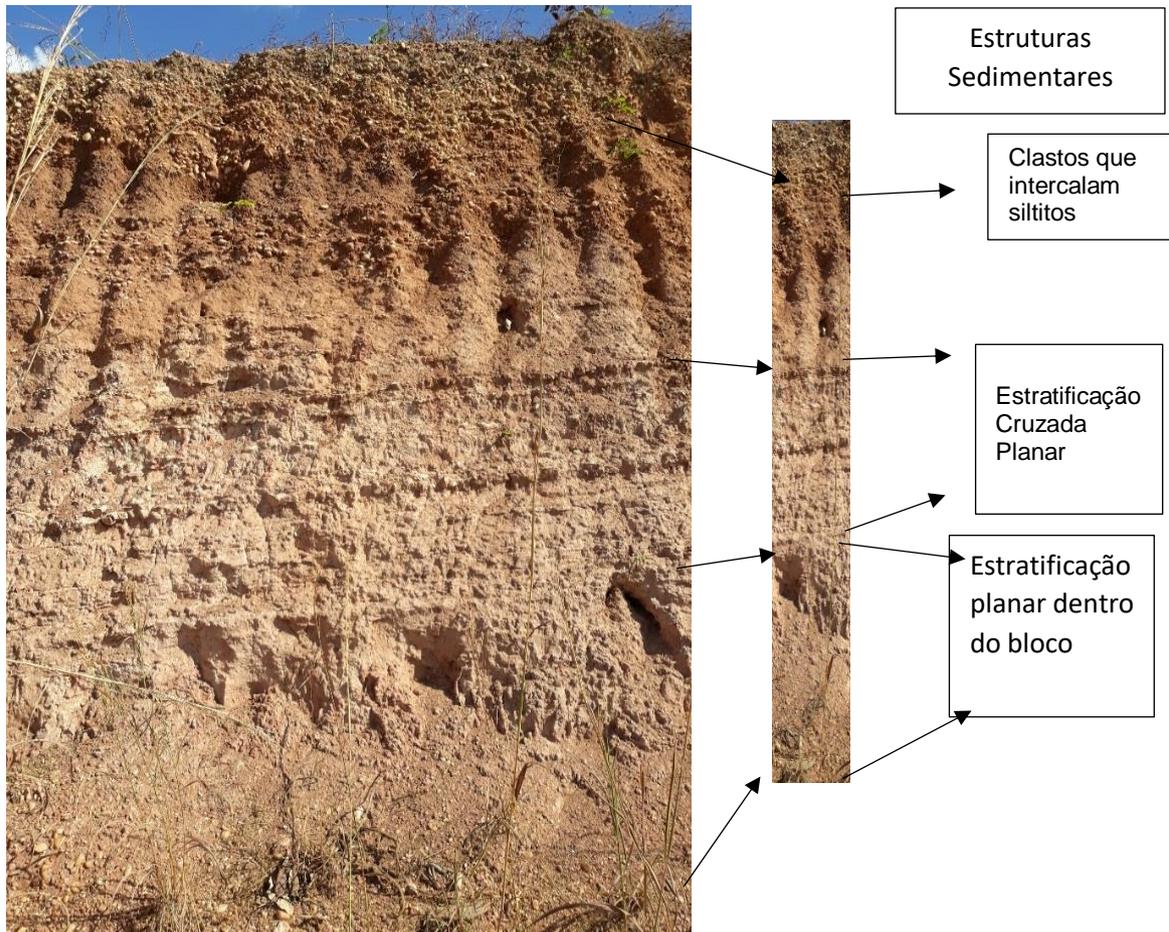


Fonte. Costa (ago. 2018).

Essa litofácies em depósito sedimentar é representado por depósitos amalgamados. Podem ser visualizadas camadas estratificadas de sedimentos silicosos, camada com depósito de concreções de estrutura concêntrica e na base, camadas de sedimentos intercalados por clastos (FIGURA 9).

Essa unidade litológica não representa regularidade em sua forma externa, tem uma cor seca. A estratificação tem uma passagem transicional entre as camadas sedimentares, com estratificação plana-paralela entre as camadas horizontais. A espessura das camadas é variável, com acomodação por amarrotamento.

Figura 9 – Fotografia evidenciando camadas estratigráficas de depósito de sedimentos com camadas estratificadas – estratificação Cruzada sustentadas com clastos, entre os bairros Irmã Dulce e Angelim (Conjunto Mário Covas), zona sul de Teresina

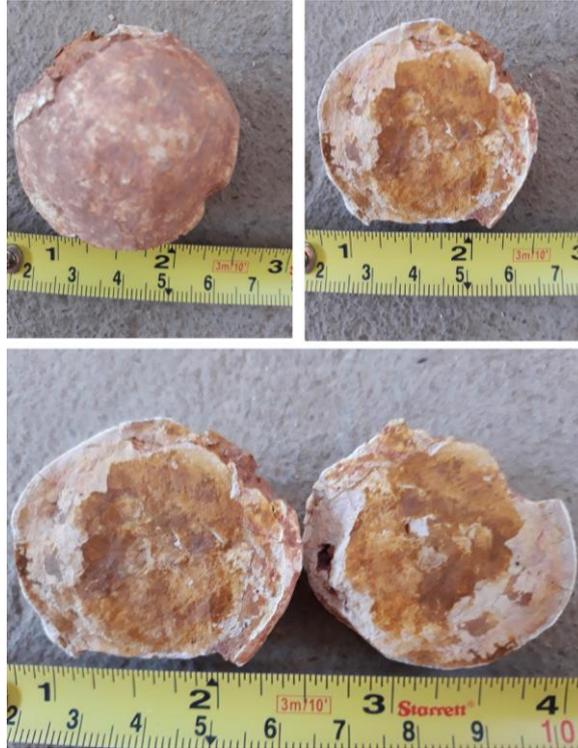


Fonte. Costa (ago. 2018).

Destaca-se que não há controle estrutural do relevo residual local desencadeando, assim, um diferencial no processo erosivo. As concreções são estruturas pós-deposicionais, podem ser encontradas em uma camada intermediária com sequência de rochas de origem química, cuja classificação está baseada na sua composição química, sedimentos silicosos, que de acordo com Popp (2013, p. 103), “são depósitos de sílica criptocristalina (calcedônia) e quartzo microcristalino sob a forma de sílex” (FIGURA 10).

Ao longo do perfil transversal, o afloramento é formado por concreções areníticas intercaladas por clastos (FIGURA 10). A esse respeito, Caputo (1984) coloca que a Formação Pedra de Fogo é principalmente pelítica agregado com fósseis continentais e com intercalações de calcário, dolomita, dolomita pisolítica, porcelana (sílex) e anidrita, assim como os pisolítico e oolítico leitões de dolomita que podem indicar praias lacustres, ocorrendo presença também de concreções planas circulares conhecidas pelo nome "bolachas" (bolacha plana).

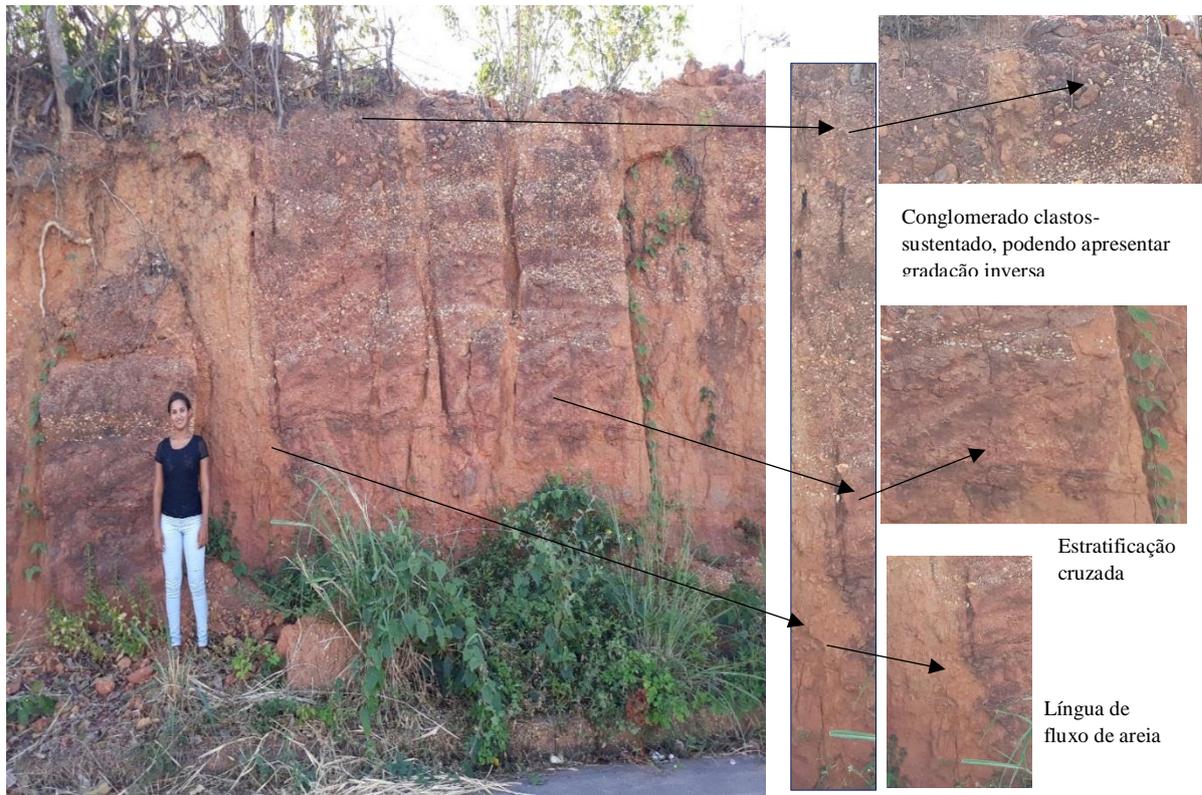
Figura 10 – Fotografia de amostras de concreções de sedimentos silicosos. Calcirudito - a cor avermelhada está relacionada a hidróxido de ferro



Fonte. Costa (set. 2018).

Depósitos amalgamados intercalados com conglomerados, ocorrendo lente de arenito. A forma externa dessa unidade litológica não apresenta regularidade, tem cor seca. É caracterizada por estratificação cruzada paralela, horizontal. A perturbação das camadas é caracterizada por amarrotamento (FIGURA 11).

Figura 11 – Fotografia de afloramento da Formação Pedra de Fogo, Sequência com arenitos com estratificação cruzada - na zona Sul de Teresina, no Residencial Portal da Alegria

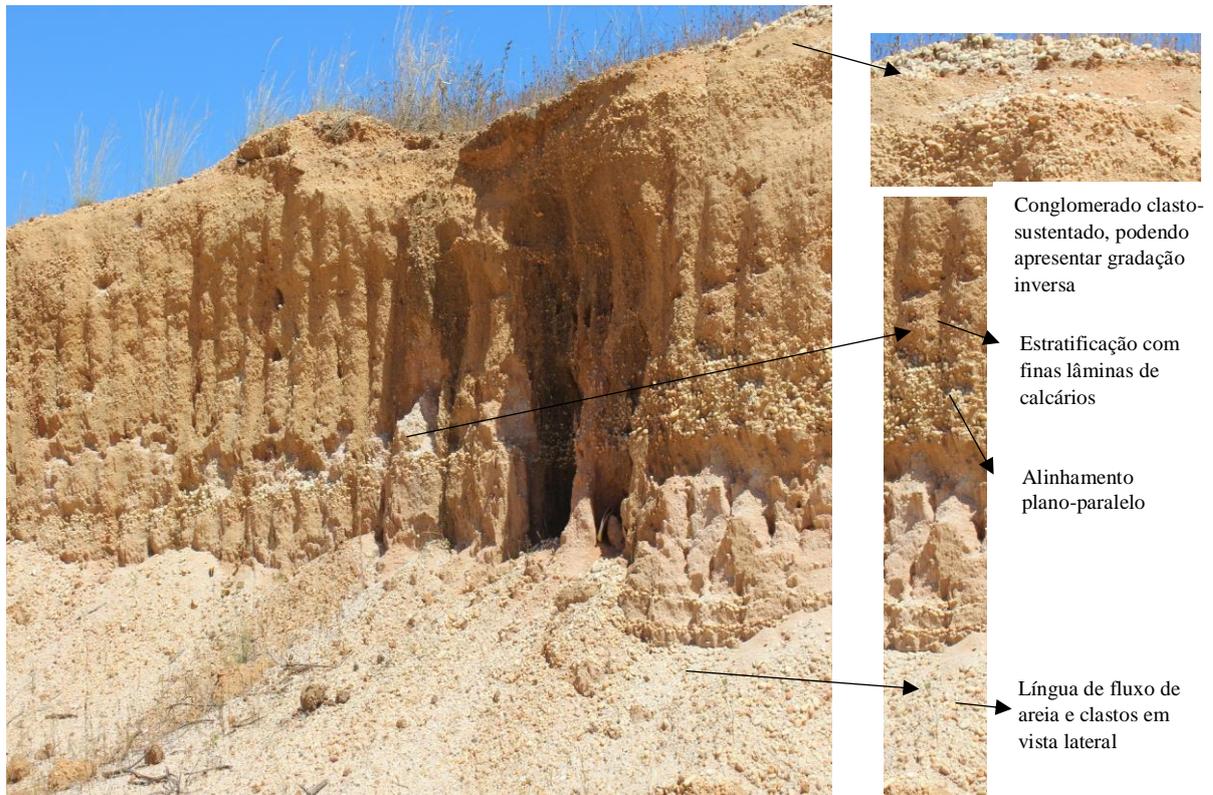


Fonte. Costa (set. 2018).

Observa-se no afloramento da Figura12 uma forma externa que não representa regularidade de deposição. Tem cor seca e sua estratificação, tem passagem brusca entre as camadas sedimentares e atitude de camadas horizontal, paralela, com perturbação das camadas em amarrotamento. Evidencia uma estrutura de sobrecarga pós-deposicional, são sedimentos não consolidados, com estrutura de pseudonódulos na sua base.

O cenário arenítico pode representar barras de desembocadura de frente deltaica, as quais se encontram sobrepostas discordantemente por uma sucessão de delgadas camadas de calcário e pelito. A sedimentação condicionou a configuração que está associado a uma base de arenitos de coloração róseo com concreções de clastos com sequência de arenitos avermelhados e amarelados intercalados com calcário e no topo uma base com clastos.

Figura 12 – Fotografia do cenário arenítico - Formação Pedra de Fogo, – arenito e conglomerados clastos com graduação normal – zona norte de Teresina, no bairro Santa Maria da CODIPI



Fonte. Costa (jun. 2018).

Considerando que esta formação corresponde a uma estrutura deposicional, cuja ocorrência pode ter sido pelas variações dos pulsos de corrente, suas camadas de arenito e seixos configuram uma agraduação múltipla.

2.3.1 – Os sedimentos do canal e a formação de estruturas

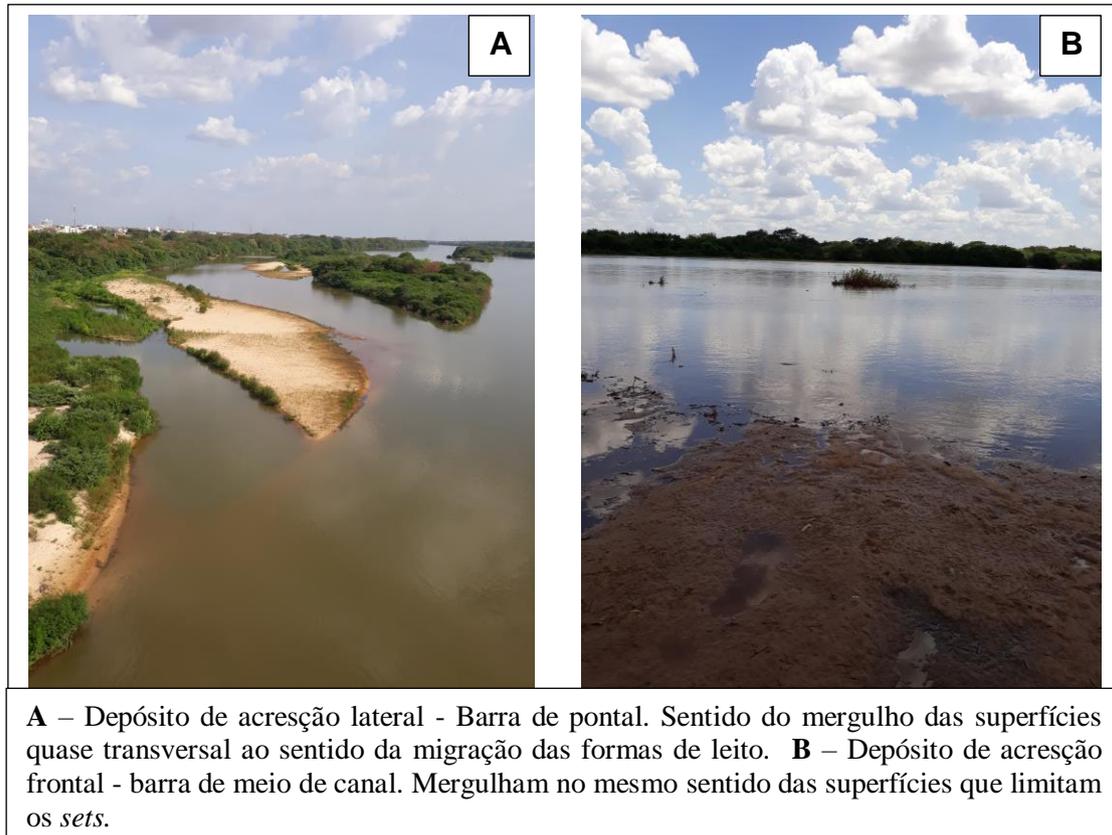
Os sedimentos têm origem em locais geográficos nos quais, sob a ação de variáveis químicas, físicas e biológicas, se desenvolvem os processos de intemperismo sobre as rochas que, então erodidas, são transportadas por diversos processos até os sítios onde serão depositadas (POPP, 2013, p. 81).

As características do Rio Parnaíba referem-se a um canal encaixado em vale com estrutura geológica de rocha sedimentar com estratos horizontais, condicionando-o em um padrão de drenagem dendrítico.

A morfologia do canal do rio se caracteriza, sob o ponto de vista geológico, em um rio com padrão meandrante, em um regime de transporte de carga de fundo com predomínio da deposição de sedimentos nas porções próximas e formação de crostas duras, especialmente calcretes, nas partes marginais (FIGURA 13). Os canais meandrante apresentam volumosas

taxas de migração lateral, ocasionadas pelas diferenças na velocidade do fluxo no lado interno e externo do meandro (SCHERER, 2008).

Figura 13 – Fotografia evidenciando migração lateral de sedimentos – Barra de pontal e acreção frontal, no leito do Rio Parnaíba – trecho urbano de Teresina

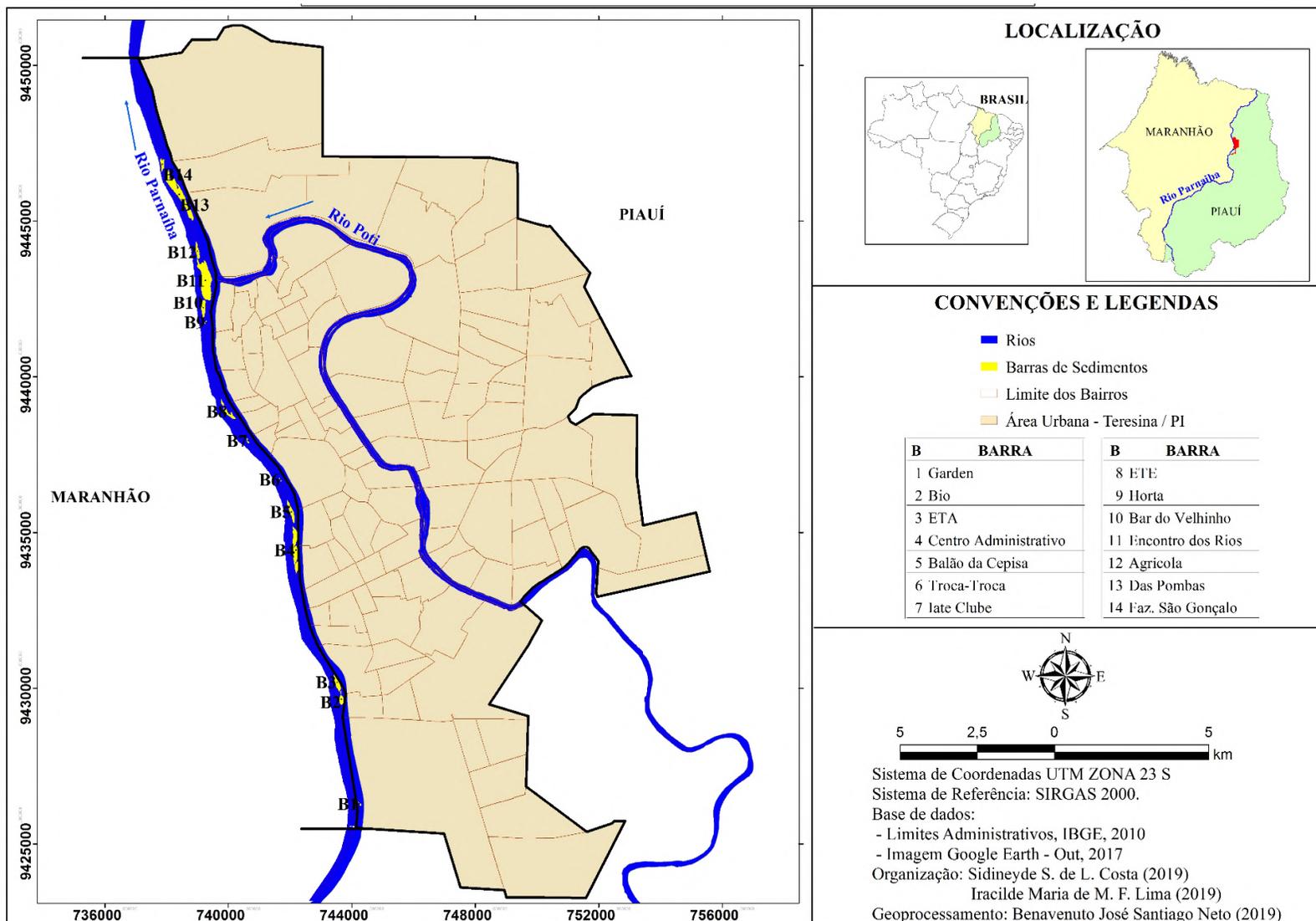


Fonte. Costa (set. 2018).

Sem considerar os efeitos da agradacão e degradação local, a tipologia do canal do rio no trecho estudado é influenciada pelo aporte de sedimentos, granulometria da carga transportada, se configurando ora encaixado em diques, ora, como planícies aluviais.

As barras arenosas, também chamadas de ‘bancos de areias’ resultou da deposição de sedimentos ao longo de alguns anos. Sua formação está associada à dinâmica da corrente fluvial, onde cada barra representa um depósito sedimentar, descritas com uma denominação associada à sua localização. São facilmente identificadas quando observadas o desenvolvimento de vegetação. Foram destacadas as barras arenosas: Barra Garden, Barra Bio (barra em pontal), Barra ETA, Barra Centro Administrativo (barra em pontal), Barra Balão da CEPISA, Barra Troca-Troca, Barra Iate Clube, Barra ETE, Barra Horta, Barra Bar do Velhinho, Barra Encontro dos Rios, Barra Sede Agrícola, Barra das Pombas e Barra Fazenda são Gonçalo (FIGURA 14).

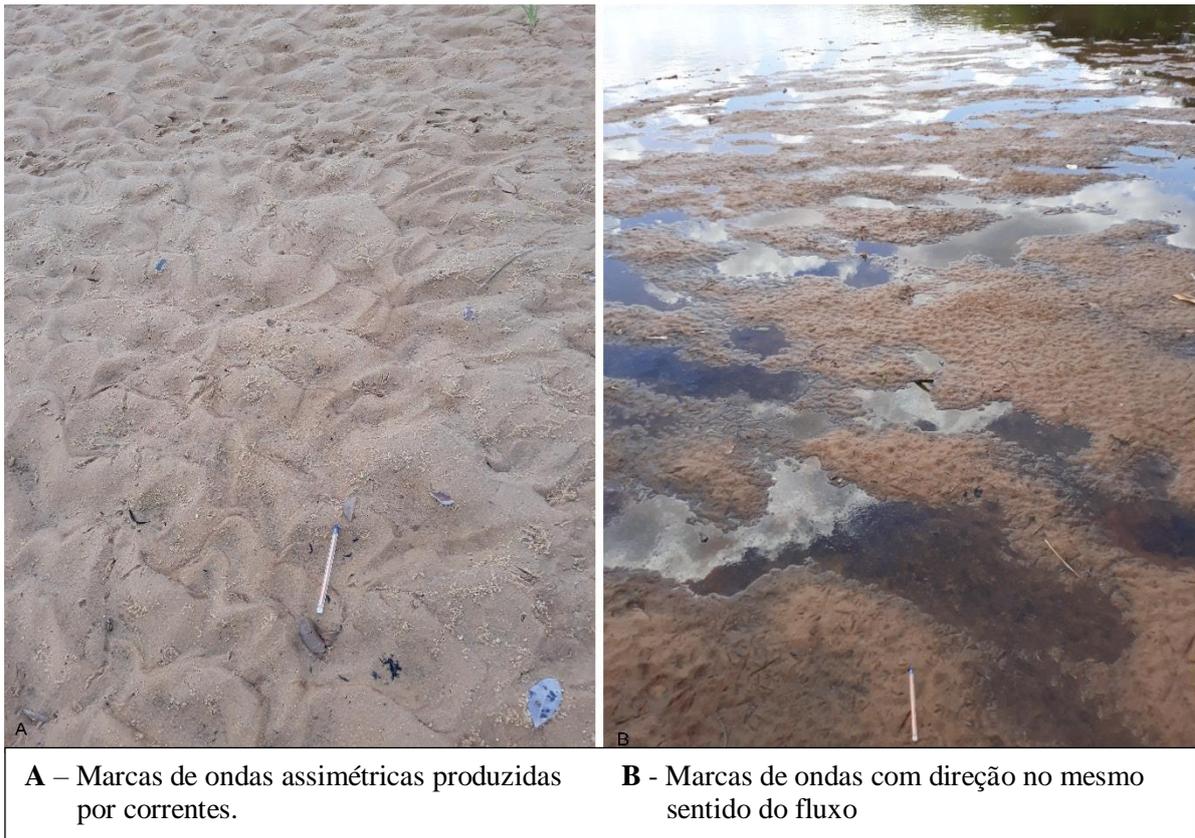
Figura14 – Mapa Teresina (Piauí) – Barras de sedimentos na calha do Rio Parnaíba – trecho urbano de Teresina



Fonte. Costa; Lima (2019). Base de Imagem Google Earth, 2017.

Por ser um ambiente de acumulação periódica e rápida de sedimentos, torna-se favorável ao desenvolvimento desse tipo de estrutura de sedimentos fluviais. Observa-se a morfologia do leito representada por uma acumulação subaquática e caracterizada por marcas onduladas, (FIGURA 15). São sedimentos que foram depositados por fluxo superficial na calha do Rio Parnaíba.

Figura 15 – Fotografia do canal do Rio Parnaíba com destaque para as morfologias onduladas



Fonte. Costa (set. 2018).

2.3.2 – Relação entre a vazão do Rio Parnaíba e os depósitos sedimentares no canal

A Usina de Boa Esperança foi edificada no alto curso do Rio Parnaíba na década de 1970, com a finalidade de gerar energia elétrica. Posteriormente, incorporada ao sistema nacional Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF (LIMA, 2017).

Operada pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF, a barragem está localizada na cidade de Guadalupe, Sul do Estado do Piauí, sendo responsável pelo represamento e controle do volume das águas do alto Parnaíba. A mesma, é o marco entre alto e médio Parnaíba.

Sua capacidade de armazenamento de água é estimada em 5.000.000.000 m³, com quatro municípios piauienses banhados pelo lago por ela formado: Guadalupe, Porto Alegre do Piauí, Antônio Almeida e Uruçuí (RIVAS,1996).

Cabe mencionar que seu volume de água influencia as demais áreas a jusante do represamento, destacando, a cidade Teresina (PI), abastecida e drenada pelo rio, após longo percurso, considerando 380 quilômetros de distância entre a cidade de Guadalupe e Teresina.

O canal fluvial na cidade Teresina, caracteriza-se como principal componente de transporte sedimentar do sistema fluvial, principalmente como carga suspensa ou de fundo de canal, manifestada por efeitos identificados como processos de sedimentação e fácies.

Os depósitos fluviais do canal constituem-se como massas reveladoras do equilíbrio do sistema ambiental. A verificação do encadeamento erosivo e de sedimentação desses depósitos evidencia a velocidade e a energia do fluxo, no período compreendido entre 1986 e 2017, ocorrendo na área urbana da cidade, associados ao processo de defluência da usina e consequentemente de vazão do rio (QUADRO 2).

Quadro 2 – Série histórica de medidas anuais de defluência da usina de Boa Esperança e vazão do rio Parnaíba em Teresina

ANO	Defluência Total (m3/s)	Teresina Vazão (m3/s)	ANO	Defluência Total (m3/s)	Teresina Vazão (m3/s)
1986	626	774,58	2002	436,41	493,25
1987	462,83	514,41	2003	344,5	426,66
1988	478,16	556,25	2004	458,91	614,08
1989	536,91	685,58	2005	443	461,91
1990	452,75	572	2006	426,5	512,25
1991	449,16	558,75	2007	358	352,83
1992	407,83	513,33	2008	417,83	516,83
1993	338,16	385,41	2009	451,83	557,58
1994	375,83	504,75	2010	376	376,66
1995	440,83	570,5	2011	410,41	449,08
1996	375,08	506,83	2012	336,83	316,66
1997	438,66	559,75	2013	408,25	366
1998	303,83	356,66	2014	338,41	370,91
1999	339,83	436,41	2015	294,25	295,66
2000	468,5	611,9	2016	274	288,33
2001	369,58	434,41	2017	293,58	284,75

Org. Costa (2019). Base de dados: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. Informação cedida em 10/2019

2.3.3 – Defluências médias anuais totais da Usina de Boa Esperança

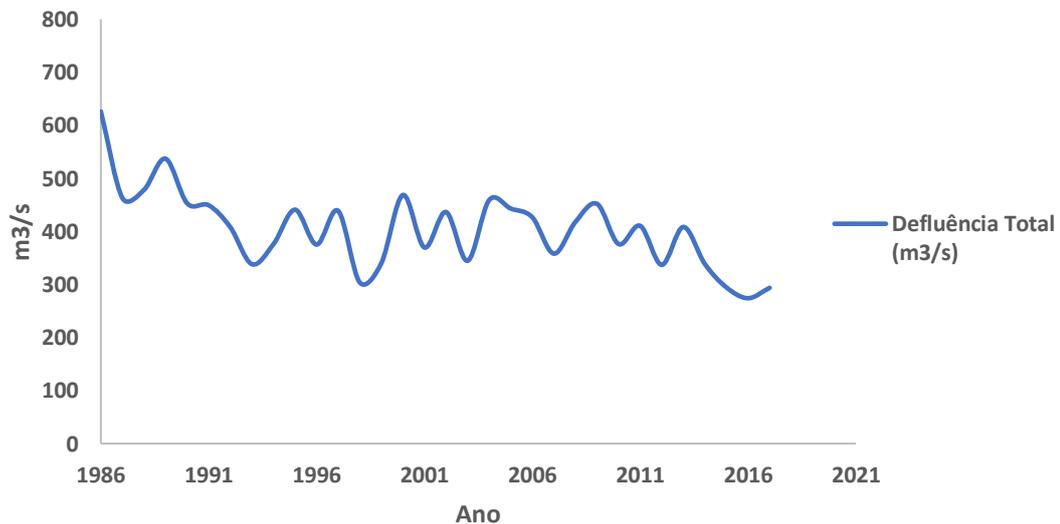
As águas represadas na Usina de Boa Esperança são liberadas por defluências totais, que corresponde a vazão resultante do aproveitamento hidrelétrico ou, de uma estrutura hidráulica. Essas águas assumem importância, pois representam o maior ou menor volume de água no canal do rio, em Teresina.

Percebe-se que durante os anos verificados a defluência total oscilou ora aumentando, ora reduzindo seu volume, apresentando queda progressiva entre os anos 2013 e 2017.

Valendo-se do histórico de defluências exibido pelo quadro 5, infere-se a formação dos bancos de sedimentos nos períodos de pequena defluência, desfazendo-se, em parte ou total em períodos contrários.

Analisando o gráfico 1, evidencia-se os períodos de alta e baixa defluência ocasionados pela Usina de Boa Esperança. Consequentemente, há formação de bancos de sedimentos no canal do rio, estabelecidos a partir das baixas, verificados através das curvas menores do gráfico.

Gráfico 1 – Série histórica de médias anuais de defluências totais da usina de Boa Esperança – 1986 a 2017



Fonte: Costa (2019). Base de dados: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. (Informações cedidas em 10/2019)

A maior defluência registrada dentre os trinta e um anos destacados, ocorreu no ano de 1986 com 626 m³/s, e sua menor ocorrência foi no ano de 2016 com 274 m³/s, originando cinco e dezessete bancos de sedimentos, respectivamente.

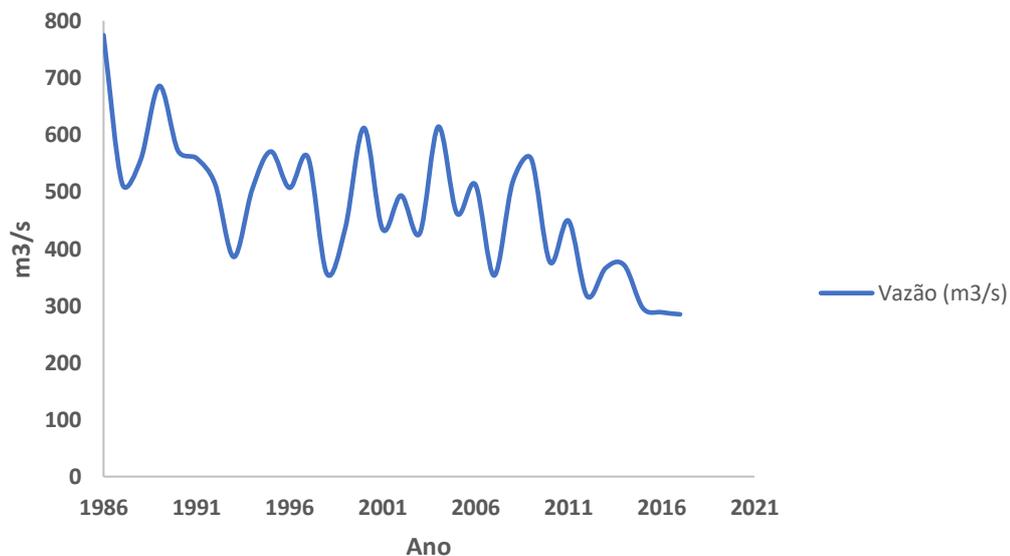
2.3.4 – Vazões médias anuais em Teresina

A definição de vazão, está relacionado ao volume dividido pela unidade de tempo (CABRAL, 2008). A vazão identificada apresenta nítida relação com os bancos de sedimentos no canal do Rio Parnaíba, tornando-o mais preciso com o enquadramento característico do período.

A contagem dos bancos de sedimentos centra-se em primeira instância à disponibilidade da vazão do rio, formada com sua redução. A maior vazão registrada ocorre no ano de 1986 com 774,48 m³/s e, a menor, no ano de 2017 com 284,75 m³/s (GRÁFICO 2).

Tais constatações são verificadas através dos dados cedidos pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, mediante histórico das vazões, e pela contagem dos bancos de sedimentos no canal do rio através de imagens de satélites no tempo corrido.

Gráfico 2 – Série histórica de médias anuais de vazão no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina - 1986 a 2017



Fonte: Costa (2019). Base de dados: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. (Informações cedidas em 10/2019)

Das análises feitas através de imagens de satélite, infere-se que os bancos de sedimentos, consolidava-se à redução da vazão ou, eram removidas por arrasto, principalmente, quando as vazões se tornavam mais elevadas.

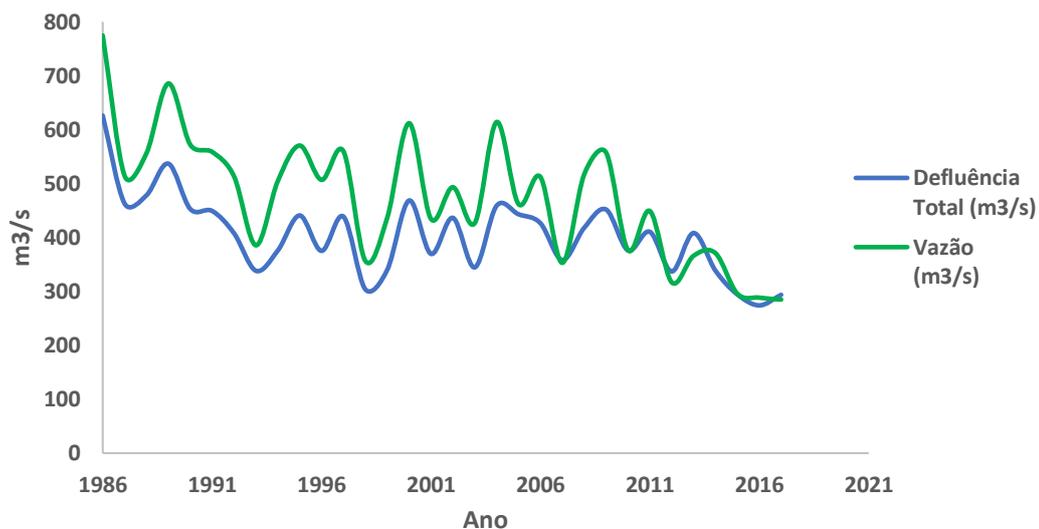
Os períodos de picos de bancos de sedimentos constituem-se nos anos de 1988, 1989, 1996, 2003, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2017, com as respectivas quantidades (12, 12, 13, 15, 12, 12, 17, 17 e 17), destacando os três últimos anos, com a maior presença de bancos.

Gonçalves (2017), verificou através de correlação entre os bancos de areia e a vazão do rio, que há uma nítida tendência de aumento da área dos bancos no período de 1984 a 2015, bem como uma clara tendência de redução das vazões anuais, tanto médias quanto mínimas.

2.3.5 – Grau de correlação entre defluências totais da Usina de Boa Esperança e vazão do rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina

Considerando a influência incontestável das vazões médias anuais na evolução dos bancos de areia, foi realizada uma análise comparativa do histórico dessas vazões e da área dos bancos no decorrer dos anos, conforme apresentado, respectivamente, nos gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 – Série histórica de médias anuais de defluência da Usina de Boa Esperança e da vazão no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina - 1986 a 2017

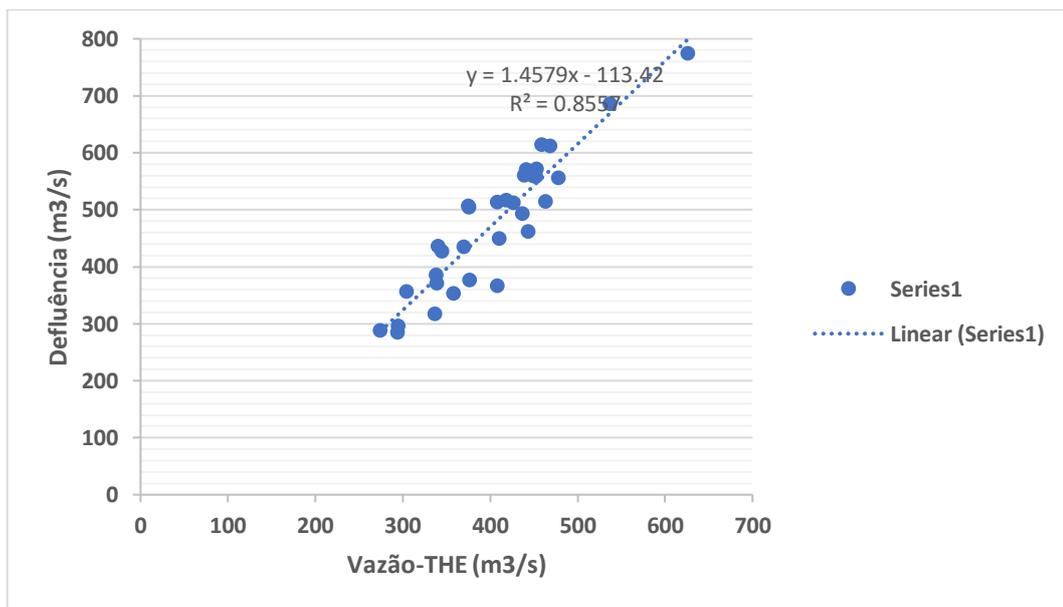


Fonte: Costa (2019). Base de dados: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. (Informações cedidas em 10/2019).

O volume de água que escoia ao longo do trecho urbano de Teresina, está relacionado principalmente à defluência da usina de Boa Esperança. A mencionada associação é verificada pela relação do aumento da defluência na Usina de Boa Esperança, com o aumento da vazão do rio no trecho urbano de Teresina (GRÁFICO 3). A afirmativa é justificada pelo Coeficiente de Correlação de Pearson, indicando que há 93% de correlação entre a defluência da usina e a vazão do rio em Teresina.

Corroborar esta afirmativa através do diagrama de dispersão com linha de tendência (gráfico 4), demonstrando que valores pequenos de defluências totais estão associados a valores pequenos de vazão e, valores grandes de defluências totais estão associados a valores grandes de vazão.

Gráfico 4 – Gráfico de dispersão com linha de tendência relacionado às séries históricas de médias anuais de defluência da Usina de Boa Esperança e de vazão no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina - 1986 a 2017



Fonte: Costa (2019). Base de dados: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. (Informações cedidas em 10/2019).

Da análise dos resultados expressos, depreende-se que para o arraste dos sedimentos, faz-se necessário um aumento da vazão do rio, quando há maior vazão, os sedimentos são arrastados pelo canal por partículas em suspensão, menor vazão, há acúmulo dos mesmos formando os bancos.

Conforme mencionado, o monitoramento da vazão disponibiliza informações necessárias para a compreensão da fisionomia do canal.

2.4 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA

A descrição dos aspectos gerais da área de estudo aborda as características do sítio urbano e da caracterização ambiental resgatando informações/aspectos levantados em trabalhos publicados relacionados ao processo de formação da cidade e sua evolução para formação da

Região Integrada de Desenvolvimento – RIDE. Segue-se a descrição do ambiente, levando-se em consideração a geomorfologia, declividade, clima, vegetação e hidrografia.

2.4.1 A formação do Sítio Urbano de Teresina

Teresina, capital planejada, iniciara com uma longa e incansável discursão sobre seu título, já que havia necessidade da transferência da então capital do Estado do Piauí (Oeiras), para outro local do qual fosse mais acessível e agradável. Segundo Chaves (1998), o Dr. Saraiva foi o responsável pela construção de uma área urbana e planejada, cujo nome receberia de Vila do Poti, que em menos de seis meses foi construído cerca de trinta habitações, dando início a uma área edificada e urbanizada. Surge então, o primeiro sítio urbano de Teresina, do qual ainda não havia recebido o nome de Teresina. Devido a muitas inundações na Vila, Dr. José Antônio Saraiva, presidente da Província, conseguiu fazer a transferência da Vila para outro local, recebendo o nome de Vila Nova do Poti, situado a uma légua da barra do Poti, em uma chapada denominada de chapada do corisco, devido a frequência de quedas de raios (CHAVES, 1998).

A Vila Nova do Poti é construída para receber tanto a população da antiga vila quanto os empregados públicos vitalícios que residiriam ali. A partir da eleição feita pela Assembleia Provincial a 15 de janeiro de 1852, a Vila Nova do Poti passa a categoria de cidade com o nome de Teresina, tornando-se sede do governo da província (CHAVES, 1998). A capital Oeiras deixa de atuar com atividades oficiais e Teresina acelera nos trabalhos de construção. no dia 16 de agosto de 1852, José Antônio Saraiva comunica a todos os presidentes de Províncias a transferência da capital para Teresina.

Aos poucos Teresina vai se caracterizando como um grande sítio urbano, configurado conforme seu relevo e seus cursos d'água, evoluindo em um círculo conectados aos aspectos ambientais (FIGURA 16).

Figura 16 – Fotografia do sítio urbano de Teresina



Fonte. Costa (jun. 2018).

Atualmente o sítio urbano de Teresina é influenciado pela dinâmica socioeconômico e pelas características do meio físico.

Pode-se dizer que desde o início do século, Teresina vem sofrendo grandes transformações em sua área urbana, com edificações e como consequência o aceleramento da retirada da cobertura vegetal da cidade (FIGURA 17). As alterações fisiográficas da paisagem são resultados de um processo de transformação da infraestrutura urbana e de construções de habitações.

Figura 17 – Fotografia de áreas transformadas no centro da cidade



Fonte. Costa (jun. 2018).

A paisagem resultante da urbanização (Figura 3), pode ser observada nos canais, pontes e avenidas, bem como nos parques, praças e jardins, nas vastas áreas edificadas, entre outros aspectos, nos equipamentos que formam a infraestrutura econômica e social e no patrimônio cultural e histórico.

O sítio urbano, em sua gênese, ou seja, a partir do da margem do Rio Parnaíba se expandiu para leste, norte e sul alterando a paisagem original, desmontando morros, cobrindo lagoas e tampando canais de rios.

2.4.2 – Metropolização de Teresina

Teresina é para os municípios circunvizinhos um centro de economia, com uma grande articulação política e social, desenvolve atividades primária, secundária e terciária. Se configura como um atrativo na economia, saúde e educação.

Pela demanda de serviços e necessidade de articulação entre cidades, foi criada a Região Integrada de Desenvolvimento - RIDE (Grande Teresina), pela Lei Complementar nº 112, de 19 de setembro de 2001, e regulamentada pelo Decreto nº 4.367, de 9 de setembro de 2002. Essa integração abrange as unidades da federação, caracterizando Teresina/Timon como uma unidade institucionalizada, abrangendo 14 municípios.

Teresina é o principal centro de referência do aglomerado metropolitano de um conjunto de 15 cidades formando a RIDE. Esta região específica é estruturada pelos Municípios de Altos, Beneditinos, Coivaras, Curralinhas, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Nazária, Pau D'Árco do Piauí, Teresina e União e o Município de Timon, no Estado do Maranhão, tem uma área territorial de 10.919,19 km², (BRASIL, 2013).

As atividades e serviços oferecidos pela cidade de Teresina promove uma movimentação de pessoas e mercadorias, desenvolvendo uma migração pendular entre os municípios destacados. Segundo o Observatório das Metrôpoles (2012), a metropolização está associada ao processo de urbanização, desenvolvendo dinâmicas territoriais de concentração e difusão da economia, de assuntos políticos, sociais e culturais nos aglomerados metropolitanos.

2.4.3 Urbanização em Teresina e o Rio Parnaíba

Teresina já iniciara de forma urbanizada, como tal, foi planejada e edificada com prédios formando um núcleo de povoação. Tendo por centro a igreja matriz N. S.do Amparo, se

estendendo até 1.500 braças de distância em direção sul e 1.500 braças a norte, em direção a Vila Velha do Poti, os limites se estenderam para oeste, à margem do Rio Parnaíba e para leste, à margem do Rio Poti (CHAVES, 1998).

O município de Teresina se expandiu nas direções norte, sul e leste, sua verticalização se dá devido o processo de urbanização ocasionado pelo contingente populacional, oriundo principalmente da migração rural-urbano no Estado. A capital Teresina tem uma área total de 1.392 km², sendo 0,55% da área do Estado do Piauí, tendo apenas 17% de área urbana e 83% de área rural, se configurando como a única capital do Nordeste como maior área territorial rural. (BRASIL, 2013).

A área urbana de Teresina se desenvolve em função dos Rios Parnaíba e Poti. O centro comercial de Teresina se desenvolveu na margem direita do Rio Parnaíba, território piauiense, do qual foi fundamental para a instalação dos bairros residenciais em seu entorno. Atualmente, o comércio de Teresina se expandiu para a margem direita do Rio Poti, significando que os rios representam um importante papel na economia da cidade.

A área urbana de Teresina apresenta 61.6% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 72.3% de domicílios em vias públicas com arborização e 5.8% de domicílios em vias públicas com urbanização adequada, se comparado com os outros municípios do estado, é o 5º de 224 com esgotamento sanitário, 119º de domicílios com arborização e 8º com urbanização adequada, comparado a outras cidades do Brasil, fica em 1763º, 2973º e 3329º de 5570, respectivamente (IBGE, 2017).

➤ Estação de tratamento de água – ETA

A Estação de Tratamento de Água em Teresina localiza-se às margens do Rio Parnaíba, tem um ponto de captação de água bruta e três estações de tratamento de água em funcionamento, a ETA I, ETA III e ETA IV. (PMT, 2016).

A coleta da água bruta para análise é feita a aproximadamente 100 metros a montante e 100 metros a jusante da captação da água.

Os indicadores de qualidade da água bruta e tratada são feitos em laboratórios, a água bruta é coletada e analisada semanalmente, os padrões de qualidade de água e quantidades de análises são regulamentados pela portaria nº 2914/11 – Ministério da Saúde (PMT, 2016).

➤ Estação de tratamento de esgoto – ETE

A Estação de Tratamento de Esgoto Pirajá é a mais antiga, foi implantada em 1974, está localizada na Avenida Maranhão, margem direita do Rio Parnaíba. Sua capacidade instalada é de 225 l/s, hoje trabalha com 110 l/s (PMT, 2016).

O objetivo das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é diminuir a poluição dos esgotos sanitários e condicionar a matéria residual resultante do tratamento (PMT, 2016). Com um sistema de gradeamento e desarenação, o tratamento se dá através de uma lagoa facultativa aerada e uma lagoa de maturação. Com esse tratamento há remoção de 69,67% DBO e 95,40% de remoção de coliformes (PMT, 2016). Após o tratamento o efluente final é lançado no Rio Parnaíba.

No entanto, a coleta do material para análise é feita através de amostras captadas a 100 metros a montante e 100 metros à jusante da entrada e saída da água, na entrada não é tratada, e na saída a mesma já passou pelo tratamento.

2.4.4 Caracterização ambiental

A cidade de Teresina faz parte do Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP – Projeto CODEVASF/OEA/BRA/02/001). De acordo com BRASIL (2006), é uma ação de planejamento participativo cujo objetivo é promover o desenvolvimento integrado e sustentável da Bacia do Rio Parnaíba.

Sabendo que a Bacia do Rio Parnaíba tem uma área de 330.849,9 km², com 75,73% localizados no Piauí, e que Teresina está inserida na síntese executiva: Território Entre Rios, destaca-se a área total desse território de acordo com a extensão da bacia, que é 36.370,3 km² o que representa 11% da bacia com 55% dessa extensão em terras localizadas no Estado do Piauí (SANTOS e CARVALHO, 2004).

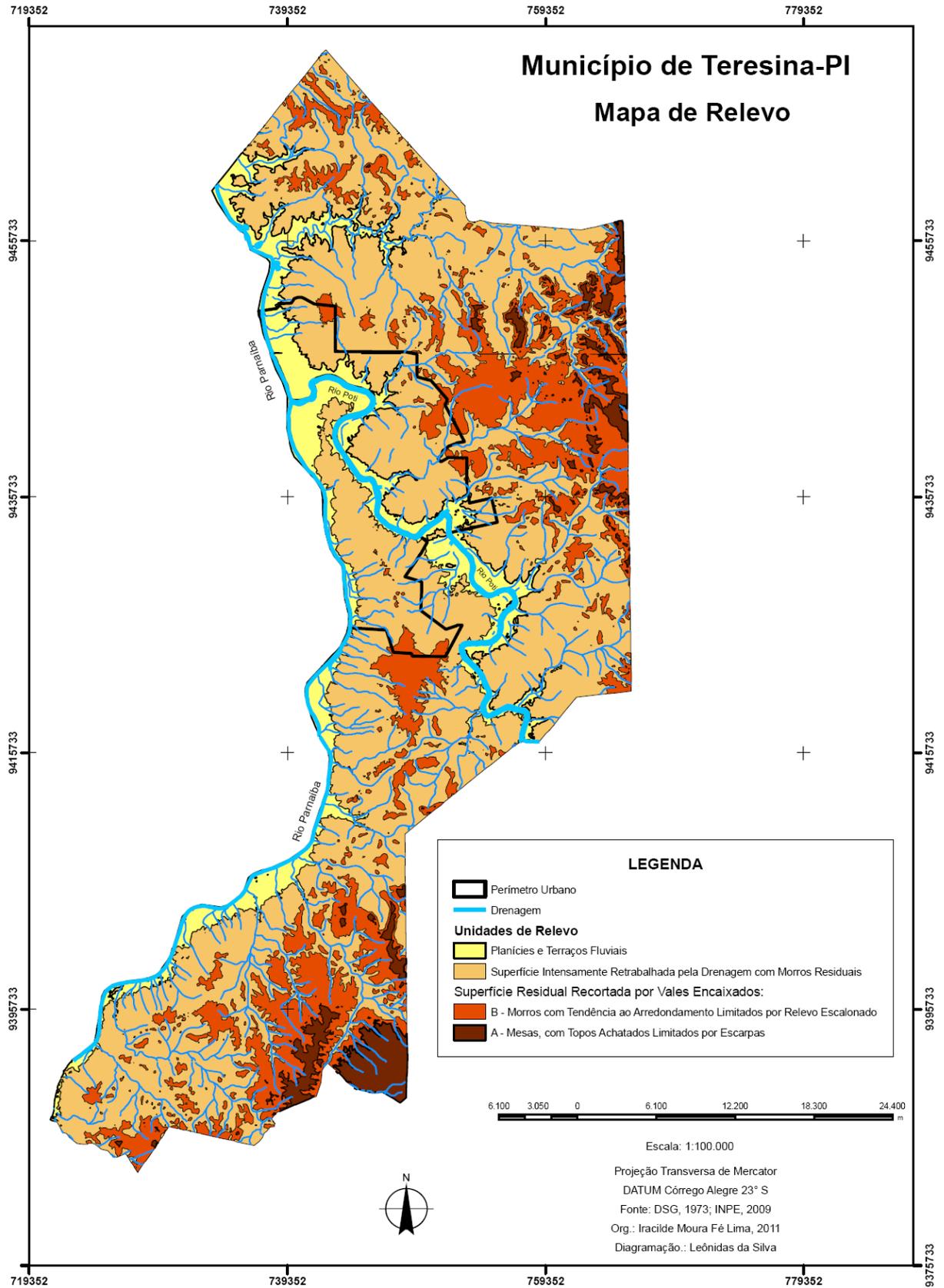
O trecho urbano do Rio Parnaíba está inserido no médio Parnaíba, cujas características revelam sua largura, onde vai aumentando à direção da jusante, chegando à 350 metros na foz do Rio Poti, Adrião Neto (2006). Ainda, segundo o autor o Rio Poti lança grandes quantidades de partículas em suspensão onde contribui para o assoreamento do Rio Parnaíba, assim, como seus demais afluentes.

2.4.4.1 Compartimentação Geomorfológica de Teresina

É importante ressaltar que as forças exógenas e endógenas são as responsáveis pela fisionomia do relevo. Nessa condição, a atual configuração morfológica do relevo de Teresina é resultado de um processo geodinâmico, além da ação humana, através da ocupação e transformação do mesmo. Para Casseti (1991), o homem não é apenas um habitante da natureza, ele se apossa e transforma a natureza em ambiente de civilização.

Quanto ao modelo do relevo de Teresina, o mesmo se configura com feições geomorfológicas baixas e desgastadas. Lima (2011), descreve o relevo de Teresina compartimentando-os em Planícies e Terraços Fluviais, que são feições de acumulação por processos fluviais sobre a formação Piauí, em faixas de 50 a 70 m de altitude e aluviões, localizados na área central da cidade, na margem do rio Parnaíba, que variam de 5 a 15 m de profundidade sobre a Formação Piauí; Superfície Intensamente Retrabalhada pela Drenagem com Morros Residuais, resultado de intensos processos erosivos, sobre a formação Pedra de Fogo, em altitudes entre 70 e 100 metros; Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados subdividindo em Morros com Tendência ao Arredondamento Limitados por Relevo Escalonado - compreendendo formas erosivas de topos definidos e remodelado pelos processos erosivos, recortados por vales encaixados estando entre 100 e 170 metros de altitude, moldado em rochas da Formação Pedra de Fogo, e Mesas com Topos Achatados Limitados por Escarpas, com formas erosivas de topos mais elevados e encostas íngremes, está a 170 e 250 metros de altitude (FIGURA 18).

Figura 18 – Mapa: relevo de Teresina



Fonte. Lima. 2011

2.4.4.2 Declividade

A existência de diferentes níveis de declividade contribui para o arraste de agentes bioquímicos através das águas pluviais caídas em Teresina indo em direção ao rio.

A declividade da área é um dos responsáveis pela descarga de elementos no leito principal do Rio Parnaíba, sua configuração demonstra a direção do fluxo após cair nos divisores de água, verificando que quase toda a área urbana de Teresina tem orientação para o referido rio. O declive das vertentes deve ser considerado como um dos fatores de interferência na bioquímica da água do Rio Parnaíba, tendo em vista que sua calha é encaixada em um vale receptor de drenagem.

Considerando que a declividade da área definida em cinco classes: 0-2,9%; 2,9-6,3%; 6,3-11,2%; 11,2-18% e 18-39,5%, têm-se uma avaliação das formas de relevo baseado na classificação de IPT (1981). Cabe salientar as descrições elaboradas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), (QUADRO 3).

Quadro 3 – Classificação das classes de declividade segundo EMBRAPA (2009); IPT (1981)

Classes de declividade (IPT, 1981)	Classes de relevo (EMBRAPA, 2009)	Descrição das classes (EMBRAPA)
0 a 3%	Plano	Superfície de topografia suavizada ou horizontal. Os desnivelamentos são muito pequenos.
3 a 8%	Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, formada por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), com declives suaves.
8 a 20%	Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, composta por conjunto de colinas ou outeiros, exibindo declives moderados.
20 a 45%	Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, integrada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas) e raramente colinas, com declives fortes.

Org. Costa (2019)

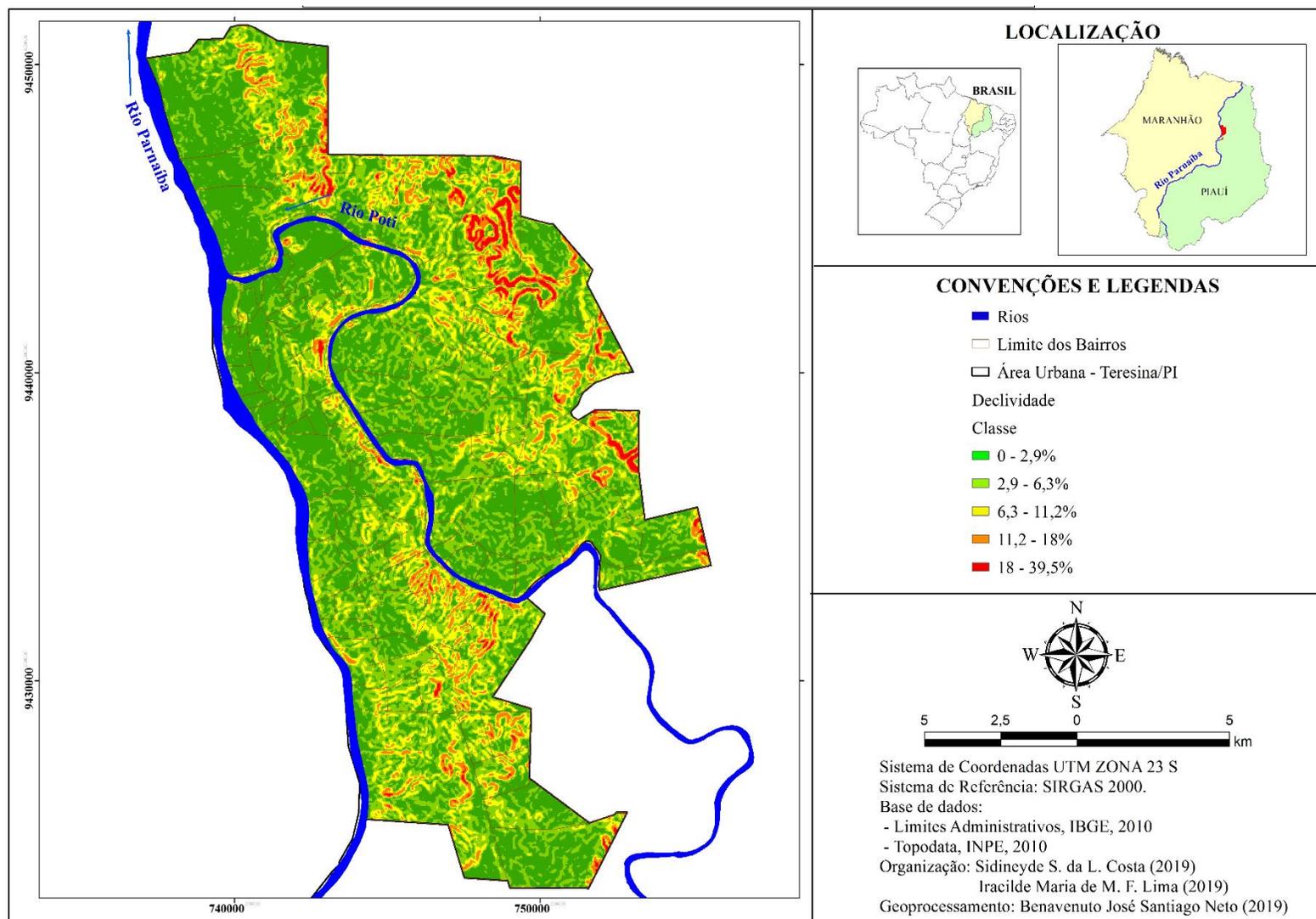
Portanto, quanto maior a declividade, maior será o escoamento superficial (*runoff*), responsável pelos arrastos de matérias indesejáveis para a calha do rio.

Neste contexto, os intervalos de declividade podem ser definidos como área aplainada – declividade entre 0% e 2,9%, representa a maior parte do terreno; área pouco aplainada, com intervalos entre 2,9% e 6,3%; área caracterizada por pequenos morros, com intervalos entre 6,3% e 11,2%; e as áreas em cor laranja e vermelho tem suas declividades um pouco aguçadas (Figura 19).

Outras considerações podem ser observadas por Pires Neto (1991), para a avaliação dos processos dominantes do relevo, apresentado como indicadores dominantes de relevo com declive de até 8% um escoamento difuso lento a médio; um relevo com declive entre 8 e 14%, o escoamento é difuso médio a rápido, concentrado com início de movimentos de massa - possibilidade de rastejamento; relevo com declive entre 14 a 27% o escoamento é difuso e rápido, com movimento de massa - rastejamento e/ou solifluxão; e relevo com declive de até 44%, o escoamento é concentrado, rápido, com deslizamento.

As mencionadas características de escoamento associadas aos resíduos dispostos pelo terreno, tem fornecido suprimentos desnecessários e negativos ao canal do rio. Todavia, corrobora com o assoreamento do mesmo.

Figura 19 – Mapa da Declividade local - Teresina (Piauí)

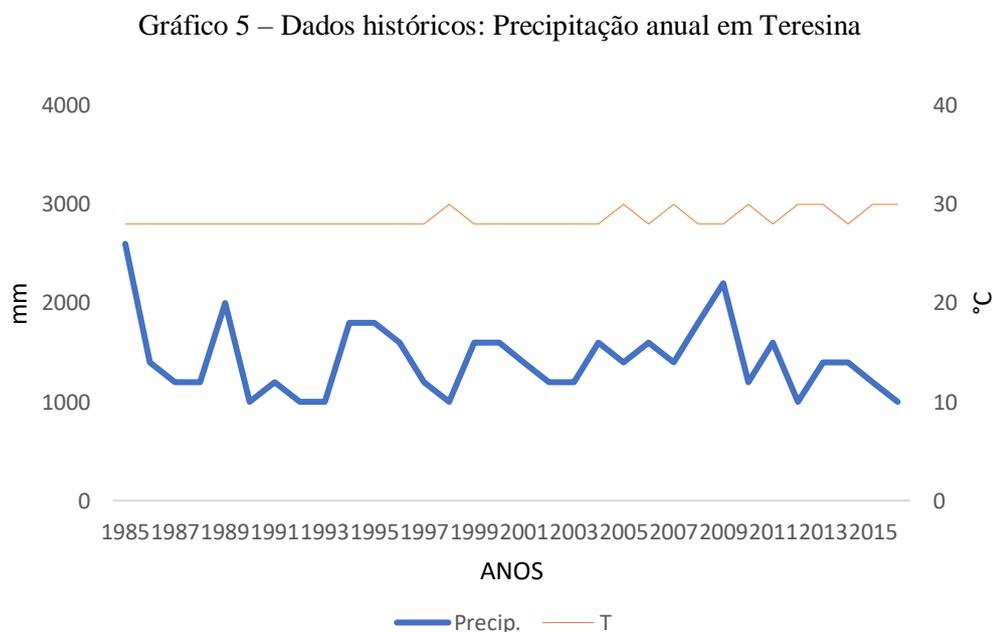


Org. Costa; Lima (2019) - Mapa de Declividade da área urbana de Teresina (Piauí).

2.4.4.3 Clima

De acordo com os dados de precipitação total anual e temperatura média anual do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a partir de 1985, é possível comprovar o que já havia verificado nos noticiários jornalísticos da referida data.

O Instituto demonstra em suas medições os maiores volumes de água precipitada na cidade de Teresina. O gráfico 5, evidencia que nesta referida data, a precipitação total foi de 2600 mm no ano, com uma temperatura média de 28°C., no entanto, o volume de água das precipitações dos anos seguintes foram diminuindo. Somente no ano de 1989, as chuvas aumentaram novamente, chegando à 2000 mm_a.



Org. Costa (2017). Base de dados: INMET

No ano em curso, o Rio Parnaíba apresentava-se bem abastecido com águas pluviais da qual remanesce tanto das cabeceiras, quanto de seus afluentes em todo o alto e médio Parnaíba, já que toda a bacia estava sendo alimentada pelas chuvas de verão.

Na década de 1990, o volume de chuvas diminuiu consideravelmente. O ano de 1990, teve um volume total de precipitações, registradas pelo INMET, de 1000 mm_a, e assim, nos anos seguintes, houve poucas mudanças nas precipitações, somente algumas pequenas oscilações em anos distintos, com temperaturas médias de 28°C.

Em 1998, uma década depois de se registrar um volume de chuvas de 1200 mm_a, com 28°C, o volume foi registrado com apenas 1000 mm_a e um aumento de temperatura média anual de 2°C, assim a temperatura média chegou a 30°C. a primeira maior média desde o ano de 1985.

As séries de precipitações na década de 2000, mostram informações bastante peculiares com relação a variação do volume de chuvas, das quais, oscilou entre 1200 mm_a a 2200 mm_a, este último, no ano de 2009.

Em 2005 e 2007, a temperatura média anual voltou a subir, sendo registrada com 30°C nos referidos anos, e um volume de chuvas de 1400 mm_a.

Em 2010 as temperaturas voltaram a subir, fechando em 30°C, e nos anos seguintes pouco oscilaram.

Por fim, ressalta-se, que no ano de 2016, o volume de chuvas foi de apenas 1000mm_a, com uma média de temperatura de 30°C.

Nota-se, então, que a temperatura média anual dos últimos 10 anos tem oscilado bastante, sempre no sentido de aumento da mesma. Nos últimos cinco anos essa temperatura virou uma constante de média de 30°C, com uma queda no volume de chuvas, desde os últimos quatro anos.

É no período de chuvas, quando aumenta a vazão do rio, que se coloca em prática a política de proteção dos organismos aquáticos, o período de defeso. A Normativa Nº- 40, de 18 de outubro de 2005, Art. 1º Estabelece normas para o período da piracema, na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, I - será anual, de 15 de novembro a 16 de março. O inciso II - proíbe a pesca, de qualquer categoria, modalidade e petrecho, até a distância de um mil e quinhentos metros a montante e a jusante das barragens de reservatórios de usinas hidrelétricas, cachoeiras e corredeiras, no período da piracema.

Na condição de que o Rio Parnaíba serve de local de produção de renda com pescado, no referido período da piracema, os trabalhadores poderão receber por quatro meses a ajuda financeira do Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT). No entanto, os mesmos, estão sempre sendo flagrados com a atividade de pescaria. O IBAMA, órgão responsável pela fiscalização da atividade, apreende muitas vezes os equipamentos dos pescadores, no período da reprodução e desenvolvimento dos animais (piracema).

2.4.4.4 Vegetação

A vegetação que caracteriza a zona fisiográfica de Teresina compreende a região fitoecológica da Bacia do Parnaíba, caracterizada como Área de Tensão Ecológica. As

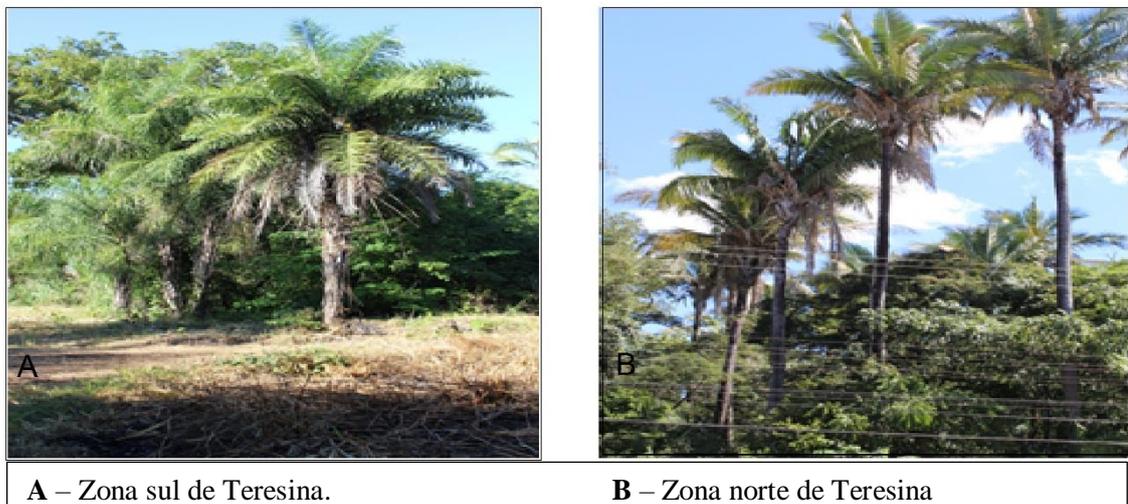
formações vegetais se caracterizam como enclave e ecótono (Rivas, 1996). Ainda segundo o mesmo, é um Geossistema denominado como Tabuleiros do Parnaíba. É uma zona de transição entre o semiárido da caatinga e o clima Equatorial da Amazônia, refletindo na cobertura vegetal.

Na área urbana a predominância é de vegetação subcaducifólia, com manchas de babaçu (ABREU, 2016). No entanto, nas margens dos Rios Parnaíba e Poti se encontra mata de galeria, apesar de estarem bastante impactadas. Ainda segundo o autor, em diferentes regiões da cidade há também a vegetação urbana que caracteriza fisionomia das praças.

Em face da ação humana e das condições climáticas a cobertura vegetal da cidade, está praticamente extinta, o que ainda é possível encontrar são apenas pontos de vegetação que aparentemente não significa incômodo à sociedade, já que a retirada do que ainda resta é feita sem que haja qualquer empecilho.

A maior concentração dos tipos vegetacionais é encontrada em parques ambientais e em algumas praças, ou mesmo, em áreas da cidade que ainda não foi urbanizada. Na área urbana é possível visualizar palmeiras de babaçu (*Attalea speciosa*) em pontos específicos, já que a floresta ali existente foi desmontada para dá lugar a especulação imobiliária. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2012), a floresta de babaçu se caracteriza como, Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas, apresenta predominância de características próprias de palmeiras, na Bacia do Piauí-Maranhão essa formação pode ser considerada como uma “floresta-de-babaçu”, revestindo terrenos areníticos do Cretáceo. Apesar de ser floresta, outras áreas de babaçu foram devastadas, dando lugar a fronteira agrícola. Em Teresina, seu desmatamento está relacionado a especulação imobiliária (FIGURA 20).

Figura 20 – Fotografia da vegetação Mata dos Cocais (babaçu - *Attalea speciosa*) / área urbana de Teresina



A – Zona sul de Teresina.

B – Zona norte de Teresina

Fonte. Costa (jun. 2018).

Todavia, é uma vegetação secundária que está desaparecendo, dando lugar a outro tipo de vegetação. É um ciclo, promovido pelo homem, porém controlado pela natureza.

A mata de galeria é uma vegetação desenvolvida nas margens do Rio Parnaíba, verificada no trecho urbano de Teresina, (FIGURA 21). Sua mata ciliar original, foi bastante modificada. De acordo com Silva (1995), houve um tratamento de reflorestamento da margem do Rio Parnaíba em 1993, para recuperação da mata ciliar. “O Rio Parnaíba necessita da recuperação das matas ciliares em toda a área devastada para combater a erosão e evitar o assoreamento” (SILVA, 1995, p.3).

Figura 21 – Fotografia de área desmatada na margem do Rio Parnaíba



Fonte: Costa (dez. 2016)

Apesar do reflorestamento da mata ciliar no trecho urbano do Rio Parnaíba em Teresina, falta vegetação em quase toda a área e sua margem está bastante impermeabilizada. De acordo com relatos da população, havia bastantes palmeiras, principalmente carnaúba (*Copernicia prunifera*). No entanto, se percebe a ressurgência de tipos de vegetação em sua margem, porém, há trechos que são utilizados como área de lavoura ou de plantação de hortaliças. Outros pontos são utilizados como depósitos de sedimentos retirados do leito do próprio rio.

Conclui-se, assim, que as referidas práticas desenvolvidas na margem do rio, torna inviável o desenvolvimento e o crescimento de vegetação e que a alta taxa de assoreamento é perceptível através das formações de vários bancos de areias no leito do rio, são as famosas ‘coroas’, e que, por estarem há algum tempo acumulados sedimentando-se, está havendo o desenvolvimento e crescimento de vegetação de pequeno porte sobre as mesmas.

A vegetação da margem esquerda do Rio Parnaíba, na cidade de Timon (MA), está melhor preservada. Porém, o trecho urbano de Timon (MA) também está alterado, há presença de vegetação de manguezal, uma vegetação introduzida na área. O processo de urbanização da margem do rio em Timon obedece a um certo limite para as edificações, preservando parte da mata ciliar.

2.4.4.5 Hidrografia

A água é o elemento encontrado em maior quantidade na superfície da Terra. Está distribuída na superfície e em subsuperfície. Em subsuperfície, ela resulta, principalmente, da infiltração nos terrenos de bacias sedimentares de parte das águas precipitadas da atmosfera na forma de chuva, neblina ou neve (REBOUÇAS, 2008). E em superfície, sua importância está relacionada aos oceanos, rios, lagos e geleiras.

As águas doces que drenam o Estado do Piauí estão associadas as águas subterrâneas, a lagoas naturais, açudes e lagos (LIMA, 2017). Todavia, a ocorrência das águas subterrâneas de uma região é determinada pela geologia, morfologia, clima, hidrografia, vegetação e solos (ALBERT MENTE, 2008, p. 33). Segundo o mesmo autor, os fatores geológicos que condicionam a água subterrânea estão relacionados a bacia quase circular; os falhamentos da borda oeste; o mergulho das camadas geológicas em direção ao interior da bacia; os eixos de maior subsidência das unidades Serra Grande e Cabeça e as intrusões de diabásio.

No que tange as águas superficiais, estão disponíveis em toda a superfície da Terra, de acordo com Teixeira (2003), apenas 2,5% são águas doces, desse total, dessas águas, apenas 0,3% são águas de rios e lagos.

Deve-se observar que apesar da baixa quantidade de águas armazenadas em rios, sua representatividade é de suma importância para manter as atividades do ser humano.

Enfim, as águas de superfícies é a base para o desenvolvimento de muitas sociedades. Assim também, é a sociedade que se desenvolveu à margem dos Rios Parnaíba e Poti. Teresina é uma cidade planejada e construída entre dois rios. Trata-se, portanto, de uma fisionomia evoluída às margens principalmente do Rio Parnaíba, seu principal curso d'água.

Os Rios Parnaíba e Poti nascem na divisa com outros Estados, desse modo, são rios federais, e drenam as terras piauiense, inclusive a cidade de Teresina. O Rio Parnaíba deságua no mar. O Rio Poti, tem sua foz no Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina.

A lei que os condicionam como rios federais, é a Constituição brasileira, com a Emenda constitucional de 1969, no Art. 4º, inciso II. Que são bens da união, os lagos e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado.

- *Rio Parnaíba*

O Rio Parnaíba nasce na chapada das Mangabeiras sul do Piauí, a 1.096 km de Teresina (foz do Rio Poti), na divisa dos Estados do Piauí, Bahia e Tocantins, tem sua nascente principal na Chapada das Mangabeiras, no limite sul do Piauí com o Maranhão na base da escarpa voltada para o Piauí, há três olhos d'água considerados como nascente principal do riacho Água Quente, denominação dada ao início do curso do Rio Parnaíba, percorre cerca de 1.450 km até sua desembocadura no Oceano Atlântico. Compreende três cursos: Alto Parnaíba - das nascentes até a Barragem de Boa Esperança, 784 km de extensão; Médio Parnaíba - da barragem até a foz do Rio Poti em Teresina, 312 km de extensão e Baixo Parnaíba - da foz do Rio Poti até o Oceano Atlântico 389 km de extensão (ADRIÃO NETO, 2006).

O Rio Parnaíba separa a região Amazônica do Meio Norte do Brasil, este último, está localizado em uma área de transição, entre a região Amazônica e o Sertão brasileiro, com um ambiente caracterizado por uma vegetação de transição cerrado-caatinga e um clima transicional, clima tropical típico. Assim, o rio atua como um divisor geográfico entre dois Estados, Piauí e Maranhão, é o limite territorial a oeste do Estado do Piauí e a leste do Estado do Maranhão. É também um divisor fisiográfico entre a Amazônia e a Caatinga. É o maior rio genuinamente nordestino, nasce no Nordeste, Chapada das Mangabeiras e deságua no Nordeste, Delta do Parnaíba, PI/MA.

O Rio Parnaíba banha 23 municípios do Estado do Maranhão e 27 do Estado do Piauí. Seu regime é pluvial, recebe chuvas caracterizado de clima tropical e semiárido. Os rios Balsas, Gurgueia, Piauí, Canindé, Poti e Longá são seus principais afluentes.

Visando o potencial do Rio Parnaíba a Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF, objetiva a construção de hidrelétricas apesar de já haver em pleno funcionamento a Usina Hidrelétrica de Boa Esperança, construída na década de 1980. Tem capacidade de acumulação de 5,085 milhões de m³, drena uma área de 87.500 Km² e mantém o regime fluvial do rio com vazão média anual de 301 m³/s, corresponde a 66% da vazão média da Bacia (BRASIL, 2006).

As demais usinas, estão previstas e em operação. São elas: hidrelétrica Ribeiro Gonsalves com potência instalada de 174 MW, no município de mesmo nome; hidrelétrica

Estreito de Parnaíba com potência de 56 MW, no município de Amarante e hidrelétrica Cachoeira com potência de 63 MW, no município de Floriano, todas no Estado do Piauí, além de outras previstas (BRASIL, 2006).

➤ Rio Parnaíba: trecho urbano de Teresina

O Rio Parnaíba tem fluxo permanente. Sua perenidade deve-se aos seus afluentes do alto curso e da sub-bacia do Rio Balsas (RIVAS, 1996).

A vazão média constatada através da verificação no trecho urbano da cidade dos últimos 30 anos, ordenado por uma descarga de 579,8 m³/s, medida na estação TERESINA-CHESF, sob as informações constituídas e cedidas pela ANA (2017).

O rio tem seu nível de base regional, desaguando no oceano Atlântico, do qual construiu o Delta. Seu curso se configura em alto, médio e baixo Parnaíba. Popp (2010), diz que a maioria dos rios possui três partes segundo a declividade, o trecho a montante, denominada de fase juvenil, o de maior pendente; o vale, denominado de maturação e o trecho da planície ou senil, com inclinação próxima da foz.

As chuvas que influem na alimentação do Rio Parnaíba, proporciona uma importante alimentação pluvial com consequência que define uma peculiaridade ao seu regime, apresentando duas condições distintas durante o ano. No primeiro trimestre do ano suas águas aumenta o volume, ficando acima da média estabelecida pelo seu leito maior, no trimestre mais seco, ou seja, nos três meses em que as chuvas são quase nulas, suas águas são rebaixadas, ao ponto de que em alguns trechos do percurso do rio a superfície arenosa da calha apresenta-se parcialmente emersa.

• *Rio Poti*

O Rio Poti é caracterizado pelo comportamento de sua bacia hidrográfica, seu compartimento está relacionado as características de drenagem de acordo com Lima (1982), os formadores da bacia hidrográfica do Poti no seu alto curso se arranjam numa densa rede de pequenos tributários em área cristalina, alimentados por chuvas de baixa pluviosidade, característico dos sertões, o médio curso também está inserido no semiárido nordestino, e somente o baixo curso da bacia é que está em área relativamente úmida do qual contribui através do regime de chuvas com a alimentação de seus tributários.

Visto que a bacia hidrográfica do Poti é formada por rios intermitentes, o rio principal se caracteriza sob as mesmas condições. No alto e médio curso, o escoamento é temporário, principalmente pelas condições pluviométricas e a profundidade do lençol freático, somente o baixo curso do rio tem um regime permanente justificado pela presença de um importante tributário (Rio Sambito) e pela menor profundidade do lençol freático (LIMA, 1982).

O Rio Poti nasce na serra da Ibiapaba, no estado do Ceará, em uma altitude de cerca de 600 m, possui extensão de 55,48 km no município de Teresina, sendo 24,48 km na área urbana (LIMA, 2011). As várias lagoas formadas neste trecho do rio foram recobertas por atividades da construção civil (especulação imobiliária), no entanto, em períodos de chuva, o nível da água sobe dando origem a novas lagoas, neste período o Rio Poti fica represado pelo Parnaíba.

Neste trecho, o rio é utilizado como fonte de lazer, com algumas áreas reservadas para banho, como fonte de alimento, já que se faz bastante atividade de pesca, além de servir como área receptora de efluentes domésticos.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho iniciou em agosto de 2015, pesquisando o Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina-PI, do bairro Angelim, zona sul ao bairro Santa Maria, zona norte. Para a escolha da área de estudo foram consideradas a relação das comunidades com o rio (área urbana da cidade), assim como a fisionomia da calha do mesmo, que demonstra um aspecto de elevado assoreamento.

O referido trabalho foi realizado, basicamente, em quatro etapas: etapa preliminar, constando de levantamento bibliográfico e de pesquisa e análise dos dados e, preparação das bases cartográficas; etapa de campo, no qual se realizou o reconhecimento, detalhamento, descrições e coleta de amostras; etapa de laboratório, na qual se procederam todas as análises necessárias às definições e individualizações das unidades espaciais mapeáveis na escala proposta e, finalmente a etapa de escritório onde se interpretaram os dados e confeccionou-se o texto da tese.

3.1 ETAPA PRELIMINAR

Nesta etapa foram realizados levantamentos e análises do material geocartográfico e bibliográfico referente à área em estudo, além das análises de dados informativos sobre as características hidrológicas e batimétrica do canal do rio.

A bibliografia utilizada como base para este trabalho, está relacionado aos dados que abrange características ambientais, morfológicas e geológicas, características físico-química e microbiológicas das águas, bem como, batimétricos, de sedimentos e de vulnerabilidade ambiental.

Foram analisados ensaios, artigos, livros assim como outros textos referentes ao tema em estudo. Entre os trabalhos analisados, inclui-se: o fornecimento de dados a partir de censos demográficos, relatórios técnicos, artigos científicos, dentre outros.

3.1.1 Cartografia

Foi realizada uma compilação dos dados de sensores remotos orbitais que passou por processamento digital de imagens para mapeamento das mudanças ocorridas na morfologia do Rio Parnaíba.

A interpretação dos produtos dos sensores remotos permitirá realizar a avaliação dos impactos gerados na dinâmica natural do Rio Parnaíba, através da quantificação das taxas de erosão linear e sedimentação no leito do rio, por meio de digitalização e cálculo das áreas deposicionais e erosionais.

Foi mapeado todos os bancos de areias visíveis na calha do rio a partir dos anos de 1985 a 2015, observado pelo software Google Earth Pro.

De posse das referências cartográficas da área de estudo foram compiladas as informações básicas, tais como: drenagem, altimetria, centro urbano, dentre outras, para compor o mapa base com escala de 1:5.000.

Grande parte da análise da vulnerabilidade do rio é resultado de trabalhos desenvolvidos no software Google Earth Pro, onde foram identificados e discriminados os indicadores que compõe sua margem direita.

A confecção do mapa de declividade da área em estudo foi gerada por método de imagem digital com escala 1:5.000, resultou da interpretação de imagens de satélite (Landsat_5_TM_RGB743) no *software* ArcGis 10.3, sendo delimitadas cinco classes de declividades: 0-2,9% (verde), 2,9-6,3% (verde claro), 6,4%-11,2% (amarelo), 11,2%-18,0% (laranja) e 18,0%-39,5% (Vermelho).

Como base de referenciamento cartográfico utilizaram-se imagens Landsat, SRTM e imagens fornecidas pelo software Google Earth Pro. O limite da área de estudo (faixa de 30 quilômetros) ao longo de seu percurso e as entidades representadas no mapa foram trabalhadas no ArcGis 10.3, e no software Google Earth Pro.

Utilizou-se também, informações geocartográficas fornecidas pela Serviço Geológico do Brasil – CPRM, para adaptação do mapa geológico.

3.1.2 Levantamentos de dados dos parâmetros físico-químico e microbiológico da água

A qualidade das águas dos rios vem sofrendo alterações físico-químicas e microbiológica, principalmente em áreas urbanas, já que é comum utilizar o curso d'água como área de depósito de águas servidas.

Esta constatação é verificada através dos levantamentos dos dados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água que se efetivou sob duas fontes distintas, com períodos distintos: a primeira discussão está relacionada a análise dos dados fornecidos pela empresa Águas e Esgotos do Piauí S.A. – AGESPISA, nos anos 2015 e 2016, a segunda análise está sob a base de uma verificação *in loco* no ano de 2018, (QUADRO 4) .

Quadro 4 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina

PARÂMETRO ANALISADOS	
Cedidos pela AGESPISA	Coleta <i>in loco</i>
Turbidez	Sólidos Totais Dissolvidos
Sólidos Totais	Condutividade elétrica
Sólidos Totais Dissolvidos	Temperatura
Condutividade elétrica	pH
Temperatura	Alcalinidade total
pH	Dureza total
Acidez	Dureza do cálcio
Alcalinidade total	Dureza do magnésio
Dureza total	Cloretos
DBO ₅	Ferro
OD	Amônia
Ferro	Nitrato
Detergente	Nitrito
Nitrato	Coliformes Termotolerantes
Nitrito	Coliformes Totais
Fósforo total	
Coliformes Termotolerantes	

Org. Costa (2019). Quadro demonstrativo dos parâmetros.

- Procedimentos utilizados com os dados cedidos pela AGESPISA para avaliação da qualidade da água

Com os dados informados nos relatórios de monitoramento da qualidade da água efetuados pela empresa de Águas e Esgotos do Piauí S.A – AGESPISA, abrangendo o período de 2015 e 2016, foi possível analisar e tabular as informações e ainda fazer o cálculo do Índice de Qualidade das Águas – IQA.

Entre os diversos parâmetros utilizados para caracterização química, física e microbiológica das águas naturais, destaca-se como fundamentais, sob o ponto de vista do controle da qualidade da água os parâmetros indicados no quadro 3.

Três tipos de análises foram desenvolvidos para compreender a influência entre os elementos e a possível perturbação causada na dinâmica do rio.

1. Verificação de influência entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos com as componentes ambientais (vazão, pluviosidade e temperatura);
2. Correlação – Correlação entre esses parâmetros;
3. IQA – Índice de qualidade da água, feito no sitio Water quality index: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>

Por conseguinte, a verificação de influência dos parâmetros com mais de duas componentes ambientais (vazão e pluviosidade) tende a demonstrar resultados através de gráficos. É uma simples análise utilizando planilhas do Excel.

Igualmente, utilizou-se o editor Excel como ferramenta de trabalho para a determinação do coeficiente de correlação de Pearson, onde se verificou a variação entre quatro variáveis permanentes (vazão, pluviosidade, temperatura e pH), para verificação de suas influências sobre uma variável principal. Equação 1:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Onde x e y são as médias de amostra MÉDIA (matriz1) e MÉDIA (matriz2).

Com os resultados é possível verificar se há ou não correlações entre variáveis. Quanto mais próxima de 1, mais forte é a correlação. A correlação de Pearson é um número que varia entre -1 e 1.

Paralelamente, é processado a avaliação da qualidade da água feita através do parâmetro de qualidade da água – IQA. Todavia, para tal análise, foi utilizado o IQA (CETESB, 2008), adquirido no Water Research Center, do qual se utiliza 9 (nove) parâmetros (ver quadro 5, de descrição dos parâmetros do IQA, com seus respectivos pesos (w)).

Quadro 5 – Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO (w)
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliforme fecal	0,16
pH	0,11
DBO	0,11
Temperatura	0,10
Fósforo total	0,10
Nitrato	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,07

Fonte. Calculating NSF Water Quality Index (WQI). 2017.

Para esta análise foi utilizado IQA produtivo que tem a função de calcular produto ponderado das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade de água. Equação 2:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_{wi}$$

Onde:

IQA - Índice de Qualidade da Água

q_i - qualidade do i-ésimo parâmetro (obtido nas curvas)

w_i - peso relativo do i-ésimo parâmetro) (S w_i = 1,0)

O IQA foi calculado com dados cedidos pela AGESPISA. Para referência mais precisa dos resultados obtidos para o IQA, utilizou-se um padrão de cores de classificação dos valores (QUADRO 6).

Quadro 6 – Classificação da qualidade da água utilizada nos estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP

Faixas de IQA	Classificação
80<IQA<=100	Ótima
52<IQA<=79	Boa
37<IQA<=51	Razoável
20<IQA<=36	Ruim
0<IQA<=19	Péssima

Fonte: ANA. 2017

As águas com padrão ótimo, utilizou-se a cor azul; água boa, cor verde; água razoável, cor amarela; água ruim, cor laranja; e água péssima, cor vermelha.

Como no IQA não são analisados os parâmetros separadamente, não tendo certeza sobre qual parâmetro está mais ou menos influenciando na qualidade da água, faz-se necessária análise mais detalhada. Através da análise individual dos resultados obtidos para cada um dos parâmetros e da análise estatística.

As pesquisas prosseguiram através de coletas direto no campo. Para esta etapa coletou-se amostras no ano de 2018, das quais foram utilizadas para complementar e comparar os dados dos parâmetros de 2015 e 2016, ou seja, verificou-se os mesmos parâmetros, contribuindo assim, para enriquecer os resultados. Para esta última, as análises foram desenvolvidas pela necessidade de demonstrar novas informações à sociedade.

3.1.3 Batimetria

Estabelecer o equilíbrio ambiental-fluvial contribui para minimizar os problemas gerados tanto pelo aumento do assoreamento quanto pelo intenso processo de uso inadequado dos recursos do rio. Costa *et al.* (2016), descreve que durante o processo da vazante os sedimentos são transportados e com isso há uma variação no surgimento de bancos de areia em locais diferentes.

Considerando essa constatação, surge a necessidade de analisar dados batimétricos através do Relatório Técnico – Batimetria fornecidos pela Prefeitura Municipal de Teresina-PI, que possibilitou a elaboração de um mapa batimétrico. O mapa resultante considera um canal retificado. Inicialmente os dados foram obtidos dos gráficos e plotados software ArcGis 10.3. A partir dos pontos plotados foram estabelecidas isolinhas que originaram um mapa batimétrico analógico. Na etapa seguinte, os dados foram inseridos no *software* gráfico SURFER. Como produto foi criado o mapa batimétrico digital. Os dados foram também trabalhados no Excel para obtenção da configuração das seções batimétricas.

Os dados de batimetria foram adquiridos junto a Secretaria Municipal de Planejamento - SEMPLAN. As informações fornecidas estão relacionadas a área urbana da cidade. Todavia, essas informações foram coletadas em novembro de 2017.

A aplicação prática dos dados de batimetria em escala real principiou valendo-se de valores relacionados ao nível do mar. Para a faixa restrita à execução de batimetria, apresenta-se o ponto de referência para verificação de profundidade local.

Enfocando especificamente a área de estudo, ressalta-se o nível de base 59 localizado no Parque Ambiental Encontro dos Rios Parnaíba e Poti, a fim de diferenciar a profundidade local ao nível do mar.

Contudo, ainda que seja utilizado áreas externas ao talvegue, em função de sua importância para caracterização do canal, vale ressaltar que mesmo assim, sua profundidade representa valores negativo em relação ao nível do mar.

3.1.4 Sedimentologia

Segundo Silva (2003), a sedimentação em rios constitui-se como uma séria e problemática consequência da erosão. Os depósitos de sedimentos acumulados no canal do rio podem ser explicados utilizando a teoria que consiste que a carga sedimentar é transportada por correntes na porção proximal e acomodada na porção distal, conforme Scherer (2008, p. 109), “os canais fluviais tendem a aumentar a sua sinuosidade e diminuir a granulometria transportadas nas regiões distais em decorrência da diminuição da declividade do terreno e, por consequência, da velocidade do fluxo”.

Em contexto semelhante, cabe destacar a morfologia e as características sedimentológicas do Rio Parnaíba, ressaltando resultados de análise desenvolvida a partir de dados de coleta *in situ*, que posteriormente foi trabalhado em laboratório afim de caracterizar os sedimentos que forma a calha do rio no trecho urbano de Teresina.

Para análise granulométrica do sedimento de fundo do canal do rio, considerou-se a presença das frações cascalho, areia e lama. Ressaltando a classificação e distribuição das fácies texturais através do diagrama triangular de classificação dos sedimentos clásticos proposto por Shepard em 1954.

Enfatizou-se ainda, através da classificação proposta por Folk & Ward (1957), os parâmetros estatísticos diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose.

3.1.5 Vulnerabilidade

As atividades urbanas da cidade de Teresina estão relacionadas ao Rio Parnaíba em seu médio curso, onde o rio interage com o desenvolvimento urbano e a cidade interage com o rio. Neste sentido, foi analisado o sistema ambiental sob a Lei nº 12.727, de 2012, sendo uma Área de Preservação Permanente – APP. Assim, está regulamentada na forma da Lei, por uma distância de 200 metros de faixa marginal, a partir da borda da calha do leito regular.

As análises estão relacionadas ao uso do solo, cujos resultados estão sob a razão da cobertura vegetal e das principais atividades introduzidas pela ação antrópica.

Trata-se de uma área com intenso uso antrópico e com os recursos naturais de sua margem direita consideravelmente utilizada. Assim, atribui-se particular importância à realização de pesquisa que verifique tal relação, todavia, examinando a vulnerabilidade ambiental quantitativa e qualitativa da área através de imagens de satélite disponibilizada no software Google Earth Pro e verificação *in loco*.

Ainda que as imagens de satélite utilizadas sejam de boa resolução espacial e temporal, a verificação *in loco* é uma ferramenta de base que contribui para análise cuidadosa de alguns indicadores dentro de cada setor. Portanto, a primeira etapa está relacionada a análise das imagens de satélite, cuja finalidade é a compartimentação dos parâmetros ambientais. Vale salientar que o compartimento individualizado no setor foi denominado de parâmetros, identificados por suas características próprias e, destacado por sua extensão territorial, medida através de ferramentas do Google Earth Pro, utilizando km^2 como unidade de medida.

A segunda etapa se refere a identificação dos parâmetros no campo (pesquisa direta), dos quais implicam em uma melhor caracterização dos mesmos.

A terceira etapa relaciona-se às medidas quantitativas e qualitativas da vulnerabilidade realizada mediante três métodos distintos para análise quantitativa e um método para vulnerabilidade qualitativa. Para o quantitativo tem-se: regra de três simples, que calcula a porcentagem de cada indicador na seção; operação matemática somatória ponderada, que verifica o grau de vulnerabilidade da seção e a Concentração de Efluentes de Corpos Receptor, através do cálculo matemático cujo resultado é estimado em porcentagem. Outra verificação está relacionada a influência quantitativa dos esgotos, refere-se à verificação através de uma regra de três simples, observando os valores em m^3/s que caem na área de cada seção verificada. Além do quantitativo, o método qualitativo efetuado para avaliação da vulnerabilidade é orientado a partir da observação dos parâmetros dentro da APP.

Em ambos os tipos de vulnerabilidade verificado no rio, considerou-se a área subdividida em quatro setores: Setor Sul, Setor Centro, Setor Norte I e Setor Norte II. A compartimentação dos setores está baseada em características comuns de cada área.

O cálculo de vulnerabilidade foi desenvolvido a partir de um sistema de indicadores calculados através do critério de análise simples, verificando a área de cada seção em metros quadrados envolvendo as proporções entre grandeza, através da regra de três simples (TABELA 1).

Tabela 1 – Peso dos indicadores de vulnerabilidade

PESO DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE			
PARÂMETROS NEGATIVOS		PARÂMETROS POSITIVOS	
até - %	PESO	até - %	PESO
10	10	10	1
20	9	20	2
30	8	30	3
40	7	40	4
50	6	50	5
60	5	60	6
70	4	70	7
80	3	80	8
90	2	90	9
100	1	100	10

Fonte. Costa (2018).

A porcentagem de cada indicador no setor corresponde a um nível de vulnerabilidade que varia de 0 a 100, substituindo seu valor por um peso que varia de 0 a 10 para os indicadores negativos e positivos. Considerou-se que a ausência e/ou presença do indicador/parâmetro, torna o rio mais ou menos instável.

A intensidade das perturbações está relacionada ao valor do peso multiplicada pelo valor do critério. A vulnerabilidade alta do canal estabelece o valor de IVA alta com maior vulnerabilidade. Para a vulnerabilidade baixa ocorre o contrário, ou seja, quanto menor o IVA menor será a vulnerabilidade.

Ao longo do percurso urbano do rio, as condições que caracterizam a vulnerabilidade, referem-se aos fatores do meio físico e biótico e as pressões sofridas por eles. Observando que para a sistematização dos parâmetros aplicou-se o critério do sistema de indicadores da Análise da Vulnerabilidade Ambiental (FIGUEIREDO *et al.* 2010), segundo o grau de exposição da área e as pressões ambientais desenvolvidas pelas atividades antrópicas tabela 2.

Tabela 2 – Indicadores positivos e negativos de análise da vulnerabilidade ambiental

CATEGORIAS	
INDICADORES NEGATIVOS	INDICADORES POSITIVOS
Atividade industrial	Plantio heterogêneo
Atividade comercial	Plantio consorciado
Concentração urbana alta	Parques Ambientais e Praças
Concentração urbana baixa	Sistema fluvial
Vias pavimentadas	
Talude e terraço pavimentados	
Atividade de Dragagem	
Atividade agrícola	
Sistemas de galerias	
Solo exposto	

Fonte. Costa (2018). Base de dados: Google Earth Pro (imagem de jul.2018).

Utilizou-se também a classificação sistematizada do uso da terra dada pelo IBGE (2013), através do manual técnico de uso da terra que expõe seu uso em sistema multinível.

Sob as condições de uma operação matemática somatória ponderada, manipulou-se os dados de uma transformação linear em uma escala que varia de 0 a 10 (TABELA 3). A normalização dos indicadores nessa escala única é fundamental para que os valores possam ser associados. Considerou-se que nas proporções de alta vulnerabilidade o rio passa a ser considerado como um corpo d'água com desequilíbrio ambiental.

Tabela 3 – Níveis de vulnerabilidade ambiental

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DOS INDICADORES	
VULNERABILIDADE	VALOR
Alta	6,1 - 10
Média	4,1 – 6,0
Baixa	0,0 – 4,0

Fonte. Costa (2018).

A análise de vulnerabilidade da área é desenvolvida por um conjunto de 14 categorias, organizados em três critérios, gerando um índice que expressa a vulnerabilidade de uma área (quadro 2), baseado na metodologia desenvolvido por Figueiredo *et al.* (2010).

Os critérios utilizados são: exposição de um sistema a pressões, com valor 1, sensibilidade, valor 2, e capacidade adaptativa valor 3. Os indicadores de exposição (solo exposto, concentração urbana alta, concentração urbana baixa, Atividade industrial, Atividade comercial, Atividade agrícola, Atividade de dragagem, Vias pavimentadas, Talude e Terraço pavimentados, e Esgotos), sensibilidade (Parques Ambientais e Praças) e capacidade de resposta (Plantio heterogêneo, Plantio consorciado, Sistema fluvial).

Para o cálculo de índice de vulnerabilidade ambiental do rio manuseou-se os dados dos indicadores (categorias), operando através da Regra para Agregação dos Critérios no Índice Final, desenvolvido por Figueiredo (2010). O índice final de vulnerabilidade é composto pela média ponderada dos valores atribuídos aos critérios (Equação 3) pelo peso de cada um.

$$IVA = \frac{\sum_i^n (X_i + P_i)}{\sum_i^n X_i}$$

Onde:

Σ = Somatório

X_i = Critério de vulnerabilidade;

P_i = Peso do critério na formação do índice.

IVA = Índice de vulnerabilidade ambiental da área. Da média aritmética ponderada no programa Excel, que mensura o percentual ocupado por cada área de uma seção, pelo valor de vulnerabilidade atribuído àquela área.

3.1.6 Concentração e qualidade de efluentes no corpo receptor

Pode-se dizer que os recursos hídricos estão comprometidos devido a sua exposição e contaminação, ocasionado pelo seu mau uso. Do ponto de vista hidrológico, a qualidade da água é tão importante quanto sua quantidade.

Por conseguinte, é preocupante a exposição aos riscos de contaminação, já que há vários fatores que contribuem para tal situação. Teixeira (2000), ressalta que os rios, através de suas águas, são responsáveis pelo transporte de partículas, desde a forma iônica (em solução) até cascalho e blocos.

Estima-se que os efluentes estão contaminando as águas do Rio Parnaíba, pois caem diretamente no canal, sua presença constata a necessidade de avaliação de seu potencial do qual é verificado pelas análises qualitativas e quantitativas. Para as análises qualitativas utilizou-se apenas as coletas dos bueiros Areias, Balão da CEPISA, Ponte da Amizade, Carvalho, Bolhinha, Iate Clube, e ETE. Os parâmetros examinados determinam um certo grau de poluição que os mesmos proporcionam às águas do rio. Foram analisados os parâmetros físico-químico: condutividade elétrica, pH, Amônia, Nitrito e Nitrato.

Com relação a análise quantitativa, utilizou-se como base os volumes de descarga dos sete bueiros acima listados, somado a um oitavo, bueiro Estação Elevatória, verificado no dia 12/12/2018. Desta forma, considerou-se a condição básica para examinar a concentração dos efluentes do qual está ligeiramente associada a vazão do rio, dispondo dos dados de vazão concedidos pela Agência Nacional de Águas-ANA. Também foram utilizados dados de vazão em datas diferenciadas (02/10/2018 e 12/12/2018), com vazão de 195,6 m³/s e 626,1 m³/s, respectivamente, este último, já influenciado pelas chuvas de verão (ESTACÃO CHESF).

Ao identificar a concentração de efluentes em corpos de água é possível verificar as condições do corpo receptor, sabendo que, maior concentração de efluente, maior comprometimento da qualidade da água. Nesta perspectiva, pode ser calculado a partir da

verificação da Concentração de Efluentes de corpo Receptor – CECR, em porcentagem, utilizando a fórmula contida na Resolução CONAMA nº 430/11, inciso III, alínea a. Fórmula 4:

$$\text{CECR} = [(\text{Vazão do Efluente}) / \text{Vazão do Efluente} + \text{Vazão de Referenciado Corpo Receptor}] * 100$$

3.2 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em várias etapas, sendo a primeira de natureza exploratória, buscando obter uma visão geral da área e também definir a programação das próximas visitas. Na segunda etapa foram realizadas visitas a afloramentos das formações geológicas no trecho urbano de Teresina.

A terceira etapa dos trabalhos de campo, foram as coletas de sedimentos no canal do rio para análise granulométrica.

Na quarta, foram realizadas as visitas de campo na margem direita do rio, para observação, identificação, e descrição das atividades desenvolvidas na Área de Preservação Permanente (APP), assim como, verificar o estado de conservação do Rio Parnaíba para avaliação de vulnerabilidade ambiental.

A quinta etapa foram as coletas de amostras de esgotos que caem diretamente no canal do rio, para análise físico-química.

Na última etapa, foram feitos outros campos para coleta de água bruta no canal do rio para análise físico-química e microbiológica.

- **Geologia da área**

Para fins de caracterização geológica da área, o campo realizado desenvolveu-se utilizando mapa de geológico para identificação de afloramento, Global Positioning System (GPS) e bússola.

Nos locais de afloramento foram feitos registros fotográficos, verificação da direção de inclinação do afloramento, além da direção de deposição do pacote. Do qual utilizou-se posteriormente as informações para descrição da geologia local.

- **Sedimentologia da área e pontos de coletas**

Silva (2003), destaca que carga sólida em suspensão são os sedimentos sustentados pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, sendo transportados pelas componentes horizontais dessas velocidades, subindo e descendo na corrente acima do leito, geralmente representando a maior quantidade de carga sólida do curso d'água, podendo corresponder a 99% de toda carga sólida. Em síntese os depósitos de sedimentos verificados na área em estudo, podem ter originado da alteração de rochas preexistentes e transportado pela água.

Segundo Medeiros e Cordeiro (2008), a suspensão de sedimentos inclui tanto partículas advindo do próprio leito como a chamada carga de lavagem ou carga de finos que é um “pano de fundo de sedimentos” oriundo da bacia bem à montante.

Vale mencionar que o evento cumulativo de sedimento pressupõe uma atividade de pesquisa que requer um planejamento, uma organização e uma execução de coleta amostral sedimentar. A execução depende dos métodos para a alocação das dragagens e conhecimento das especificidades ambientais. A coleta foi realizada em três etapas distintas, nas datas (09/12/2016; 13/12/2016 e 09/01/2017) respectivamente, onde a primeira foi executada no meio do canal, por transporte aquático (barco). Para todas as etapas utilizou-se um mapa preliminar do recorte da área. Foram coletadas 49 amostras.

Como material de trabalho, para coleta de sedimentos na calha do rio Parnaíba foram utilizados 01 (um) barco para a execução da atividade no meio do canal, 01 (um) receptor GPS (Garmin 12), câmera fotográfica, sacos plásticos, lacres plásticos, pinceis para a descrição do ponto de coleta, 01 (uma) bandeja plástica, 01 (uma) draga de fundo (cavadeira manual), 01 (uma) colher do tipo construção (pá).

As análises foram feitas com quarenta e nove amostras de sedimentos. As coletas foram feitas ao longo do rio, considerando três vias importantes: margem direita, lado Teresina (PI); margem esquerda, lado Timon (MA); e meio do canal do rio

Estas amostras foram pontuais, cujo tipos são chamadas de amostras seriadas. São coletadas segundo um plano preestabelecido, envolvendo intervalos de espaçamentos arbitrários, equidistantes (SUGUIO, 1973).

As amostragens foram realizadas em seções semirretas no leito do rio intercaladas com distância aproximada de 1 (um) quilômetro. Nesta seção foram coletadas 17 (dezesete) amostras.

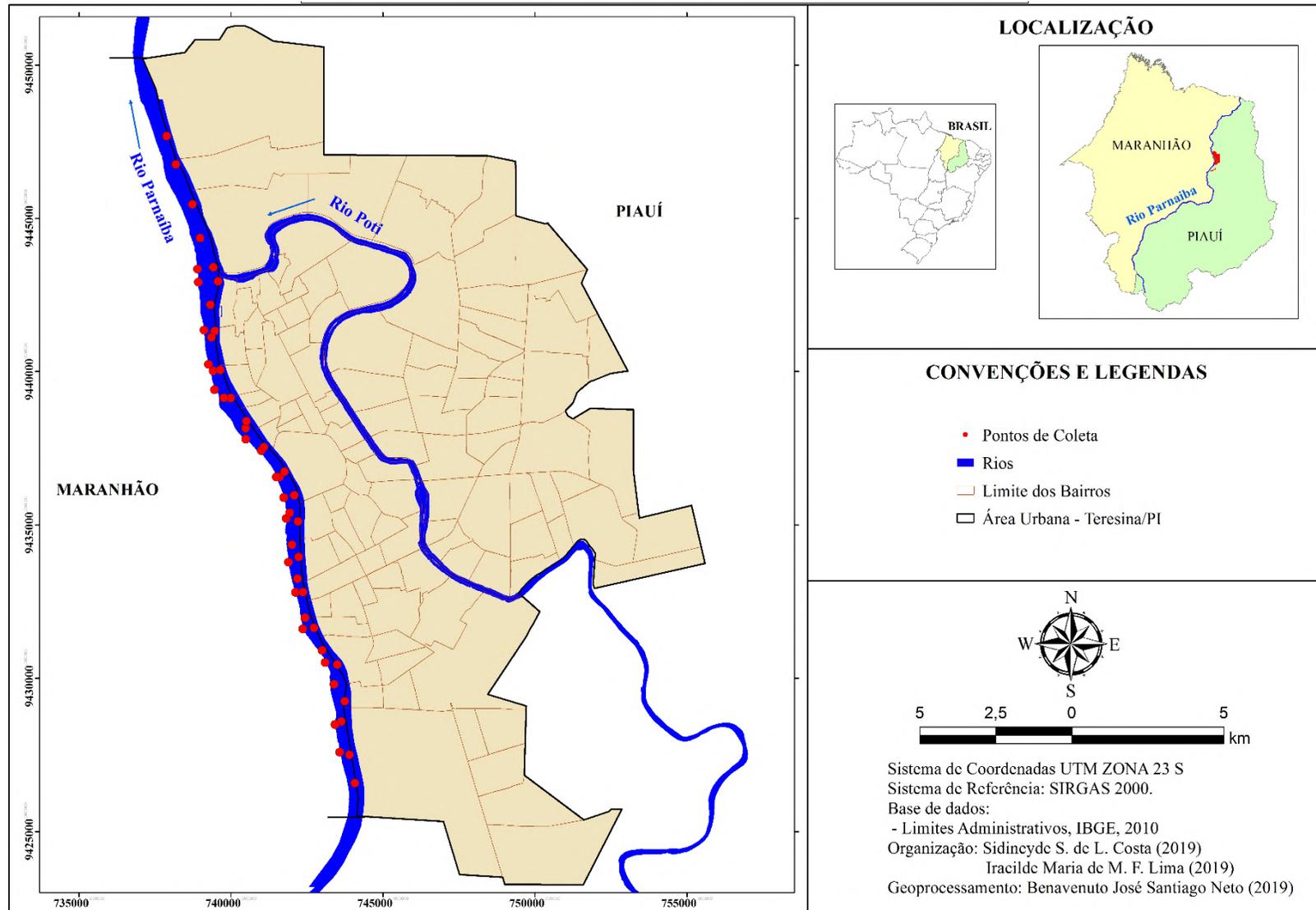
A primeira coleta (09 de dezembro de 2016), foi planejada para não coincidir com as chuvas de verão, já que são torrenciais e provoca o aumento imediato do volume do rio, visto que há impossibilidade da navegabilidade, pois o rio torna-se 'caudaloso' e com águas barrentas, dificultando a visibilidade dos bancos de areias, tornando assim, um perigo real à equipe.

No meio do rio as coletas iniciaram nas coordenadas 9428598,11 N; 0743634,7 E, não podendo prosseguir devido a impossibilidade de acesso do barco à montante, em consequência do assoreamento do rio com presença de enormes bancos arenosos. A última coleta foi feita nas coordenadas 9445466,37 N e 0738729,21 E, sobre uma enorme ilha, caracterizada com sedimentação fixa.

A segunda parte das coletas foi realizado na margem direita do rio na data de 13 de dezembro de 2016, iniciando à montante do centro urbano. Para esta coleta foi utilizado meio de transporte terrestre, para o deslocamento na margem e os demais materiais descritos para a coleta anterior. A coleta finalizou à jusante do ponto inicial coletando 18 (dezoito) amostras. Nas coordenadas 9426583,21 N e 744077,93 E, com 18 (dezoito) amostras da referida margem e terminou à jusante do rio nas coordenadas 9447684,44 N e 737881,26 E.

A terceira etapa aconteceu na margem esquerda do rio, na cidade de Timon (MA), iniciando à montante nas coordenadas de 9427595,65 N e 743577,8 E, finalizando nas coordenadas de 9443349,61 N e 738901,12 E, na data de 20 de janeiro de 2017. Foram coletadas 15 (quinze) amostras. Os pontos de Coleta de sedimentos estão localizados de acordo com a figura 22.

Figura 22 – Mapa Teresina (Piauí) – Pontos de coletas de sedimentos



Fonte: Costa; Lima (2019).

- **Vulnerabilidade**

Uma vez que as imagens de satélite detectem somente a fisionomia dos solos, a verificação *in loco*, contribui principalmente na identificação das culturas desenvolvidas no local. Desta forma, há relevância nas pesquisas de campo, em especial para detectar as singularidades da área.

Confirmando-se o uso da APP, através do contato direto, documentado por registros fotográficos.

- **Coleta de amostras de esgotos**

Ao longo do plano longitudinal do rio coletou-se amostras de efluentes para análise quantitativa e qualitativas. Obteve-se dados de descarga de esgotos sanitários que caem diretamente em seu canal. Foram analisadas oito galerias de águas servidas que cai na calha do Rio Parnaíba, denominadas de bueiro Areias, bueiro Balão da CEPISA, bueiro Ponte da Amizade, bueiro Carvalho, bueiro Bolinha, bueiro Iate Clube, bueiro ETE, Estação Elevatória. Em um primeiro momento verificou-se sete delas, em um segundo momento, averiguou-se uma última.

As coletas foram feitas com o objetivo de analisar qualitativa e quantitativamente a influência às águas do Rio Parnaíba. A coleta de dados foi feita em horários alternados (manhã e meio-dia), justificado pelo horário de maior atividade doméstica. As coletas aconteceram nos dias 02/10/2018 e 12/12/2018, neste último, verificou-se apenas a descarga da Estação Elevatória. não foi possível adquirir os dados da Estação Elevatória junto com os demais devido a não liberação de suas águas na data.

- **Coleta de amostras de água bruta**

As coletas para análises físico-químicas foram feitas no canal do rio, nas extremidades do trecho urbano de Teresina (figura 23), à tarde (QUADRO 7). As coletas para análise microbiológicas foram em horários diferentes, no início do período chuvoso (QUADRO 7).

Quadro 7 – Localização das coletas de águas para análise físico-químico e microbiológica no ano de 2018

AMOSTRA	Data de coleta	Horário de coleta	Local/ Bairro	Coordenadas	Distância entre a margem e o ponto de coleta/ metros
1	05/12/2018	15:00	Distrito Industrial	9430381.00 m S 743397.00 m E	117
2	05/12/2018	16:00	Santa Maria da CODIPI	9446649.00 m S 738111.00 m E	100
3	12/12/2018	8:00	Distrito Industrial	9430550.00 m S 743257.00 m E	126
4		14:20			
5	12/12/2018	10:20	Santa Maria da CODIPI	9446689.00 m S 738076.00 m E	114
6		15:30			

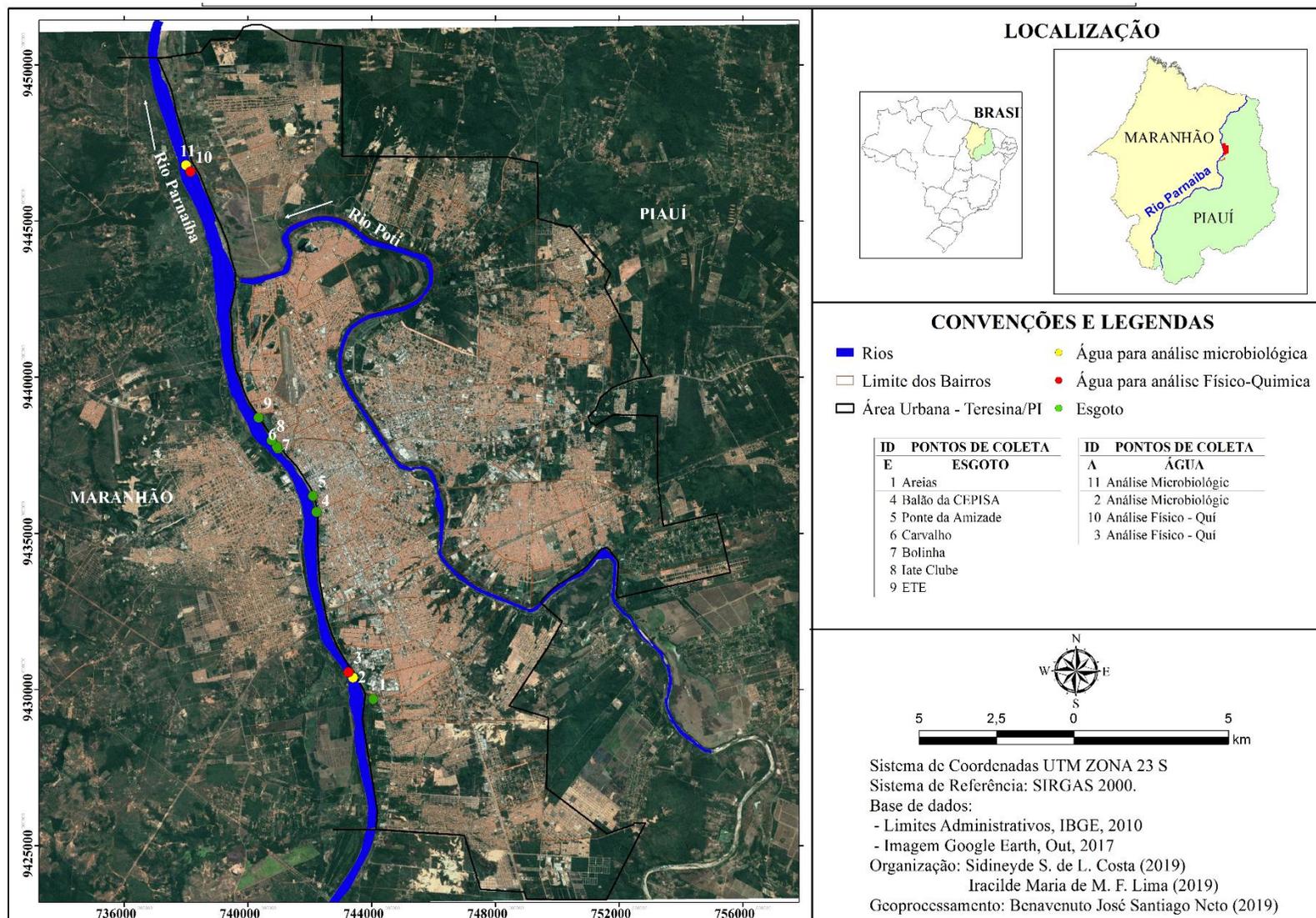
Fonte. Costa, 2018, (Pesquisa direta).

As coletas das amostras para análise físico-química e microbiológica foram realizadas na zona sul da cidade, bairro Distrito Industrial, montante do rio no trecho urbano, nas coordenadas 9430381.00 m S; 743397.00 m E, e na zona norte da cidade, bairro Santa Maria da CODIPI, jusante do rio no trecho urbano, nas coordenadas 9446649.00 m S; 738111.00 m E. Ressaltando que para o estudo do teor de coliformes totais e do teor de coliformes termotolerantes foram feitas em pontos sob as coordenadas 9430550.00 m S; 743257.00 m E e 9446689.00 m S; 738076.00 m E, respectivamente.

No dia 05 de dezembro de 2018, foram coletadas as amostras para análise físico-química e no dia 12/12/2018, foram coletadas as amostras para análises microbiológica, utilizando como meio de acesso ao canal do rio uma canoa.

As amostras foram armazenadas em caixas isotérmicas (+/- 4°C) e transportada para o laboratório, em seguida submetidas à análise.

Figura 23 – Mapa Teresina (Piauí) – Pontos de coletas de água e esgoto para análises físico-químico e microbiológico



Fonte. Costa; Lima (2019).

3.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

Nas determinações laboratoriais deve-se proceder com a manipulação dos dados e valer dos princípios para o resultado das propriedades de cada amostra analisada.

Esta etapa pode ser facilmente executada, a partir das definições de proposta pré-estabelecidas.

3.3.1 Análise da Vulnerabilidade Ambiental

Segundo Hill e Cutter (2001), há muitos tipos de vulnerabilidade em relação aos perigos naturais, embora os três tipos mais importantes sejam: individual, social e biofísico. Para Goerl *et al.* (2012), pode-se considerar a vulnerabilidade biofísica como sendo sinônimo de exposição física, ou seja, o quanto um local ou área é susceptível à ocorrência de um perigo natural.

Nesta vertente, pode-se dizer que o perigo de tornar o rio mais vulnerável às condições de desastre naturais é função do tamanho da categoria indicada em cada setor, à extensão da área do setor analisado e ao aproveitamento da mesma.

As classes ambientais com suas subdivisões estão apresentadas através de Check-list, para facilitar com clareza a identificação dos grupos analisados. Para Cremonez *et al.*, (2014), este é um método com relações padronizadas de fatores ambientais detectando os impactos provocados por fatores ou fenômenos.

Após o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), calculou-se a densidade de ocorrência de cada categoria pela área do setor em estudo.

Como resultado obteve-se a classificação do perigo estimado ao rio, verificado a partir dos indicadores positivos e negativos.

Os riscos ambientais são caracterizados utilizando a quantificação estimada pelo perigo previsto, com metodologia adaptada de Goerl *et al.* (2012), para este trabalho.

Em relação à vulnerabilidade do canal do rio, a despeito dos níveis em potencial dos indicadores ambientais, o perigo natural constitui-se um importante indicativo de desastres ambientais. Em condições do perigo estimado para o canal do rio, os indicadores ambientais são utilizados na forma de referência para estimar possíveis desastres ambientais, como processo de erosão das margens atingindo inicialmente às comunidades ribeirinhas. Além dos valores de cada categoria, deve-se determinar o perigo estimado em função da densidade de ocorrências da área do setor, utilizando a equação 5:

Cálculo do Perigo Estimado, adaptado de Goerl *et al.* (2012):

$$DO = AI/AT$$

Onde:

DO – Densidade de Ocorrência

AI – Área do Indicador

AT – Área Total

Com relação aos valores, cabe salientar que, quanto mais próximo de 1 maior será o perigo estimado para a área (QUADRO 8).

Quadro 8– Nível de Perigo de Vulnerabilidade

Definição do perigo de vulnerabilidade		
Nível do Perigo	Cor de Classificação	Descrição
Alto (0,8 a 1,0)	Vermelho	O rio estará em perigo (real) ocasionados pelo uso intensivo (inadequado) da APP.
Médio (0,5 a 0,7)	Laranja	O rio tem possibilidade de torna-se mais assoreado e ou poluído. A APP corre o risco de sofrer danos.
Baixo (0,1 a 0,4)	Amarelo	A possibilidade de assoreamento é baixa ou inexistente. A APP pode ser utilizada sem maiores prejuízos.

Fonte: Costa (2018). Adaptado de Monteiro e Kobiyama (2014)

Conforme mencionado, utilizou-se os dados das categorias de cada setor que abrangeu a área dentro dos limites da APP, determinou-se o Perigo Estimado (PE):

Como consequência da intrínseca relação entre vulnerabilidade e perigo estimado para o canal do rio, verifica-se os riscos naturais (quadro 9), através da metodologia desenvolvida por Goerl *et al.* (2012), adaptada neste trabalho.

Confere-se a análise de risco através da fórmula equação 6:

$$IR = IV*PE$$

Onde:

IR – Índice de Risco

IV – Índice de Vulnerabilidade

PE – Perigo Estimado

Quadro 9 – Análise de risco à Vulnerabilidade

Análise de risco à vulnerabilidade		
Nível de risco	Cor de Classificação	Descrição
Alto (7,1 - 10)	Vermelho	O canal do rio corre risco, ocasionados pelo uso intensivo da APP.
Médio (4,1 - 7,0)	Laranja	O canal do rio tem possibilidade de torna-se mais assoreado. A APP talvez possa sofrer danos.
Baixo (0 - 4,0)	Amarelo	A possibilidade de assoreamento é baixa ou inexistente. A APP pode ser utilizada sem maiores prejuízos.

Fonte: Costa (2018). Adaptado de Monteiro e Kobiyama (2014)

3.3.2 Análise da sedimentologia

O material coletado foi separado em dois grupos, lamas e sedimentos arenosos. Os sedimentos arenosos foram preparados para análise granulométrica desenvolvida no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha - LGGM (UFPE), da qual passaram pelas seguintes etapas:

Pré-secagem a temperatura ambiente, em seguida, secagem a 60°C e quarteamento manual para posterior peneiramento úmido, com 100 g de cada amostra, separando o material em cascalho, areia e lama (silte e argila).

Com a fração areia foi realizada a separação por peneiramento mecânico - separação das subfrações, através de pesagem. Posteriormente os dados foram utilizados para cálculos estatísticos (diâmetro médio, desvio padrão, mediana, curtose e assimetria) de acordo com Folk e Ward (1957). Além de construção de histogramas e mapas.

Para o tratamento estatístico das amostras foi utilizado o *software* Sysgran3 – Sistema integrado de análise granulométrica . As informações obtidas através do Sysgran3 geraram dados que foram tabulados e representados em gráficos no *software* EXCEL.

Foram separadas cinco amostras de sedimentos para análise morfooscópica, com o objetivo de proporcionar informação da composição mineralógica siliciclástica da área. As amostras analisadas foram 1, 10, 28, 48 e 49.

A análise morfooscópica foi realizada no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha - LGGM (UFPE), a análise das propriedades morfooscópicas dos grãos (arredondamento, esfericidade e textura superficial) com a ajuda de uma lupa binocular, sendo utilizadas as frações que melhor caracterizassem quantitativamente a amostra. Durante a análise, os grãos, foram separados em duas áreas distintas e aleatórias na Placa de Petri e a partir deste montante realizou-se a contagem de 100 grãos. As frações selecionadas que melhor representaram quantitativamente as amostras para a análise foram as frações 2 e 3 (ϕ), e em menor ocorrência foi selecionado a fração 1 (ϕ). Para se determinar a composição foram avaliados o valor médio percentual de minerais siliciclásticos.

O critério de escolha do tamanho do grão analisado, se deu a partir da quantidade da granulação que predominava na amostra.

Os pontos amostrais distam entre si intervalos variados, com 4,5; 7,0; 10 e 1 km, totalizando 5 pontos.

3.3.3 Procedimentos utilizados para realização da análise das amostras de água desenvolvido no ano de 2018

Este procedimento é importante em laboratório, uma vez que adquire resultados para consecução da qual se fazem necessário para determinação da qualidade das águas.

A metodologia de coleta, conservação e análises físico-químicas das amostras obedeceram às normas estabelecidas pela Associação Americana de Saúde Pública – American Public Health Association (APHA, 2005).

Cada teste químico foi efetuado em triplicata, considerando a média de cada avaliação como resultado final.

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: Condutividade Elétrica (CE), pH, Nitrato, Nitrito, Amônia, Ferro, Teor de Cloretos, de Alcalinidade Total, de Dureza Total, de Dureza do Cálcio, de Dureza do Magnésio, de Sólidos Totais Dissolvidos. O valor da temperatura foi determinado nas duas coletas.

A coleta se desenvolveu obedecendo os procedimentos necessários para um resultado confiável, seguindo as descrições de Cronemberger (2008), submergindo os frascos para uma

lavagem prévia com a água do ponto de coleta, em seguida repetir o processo para a coleta das amostras, sendo lacrado os recipientes, é levado à refrigeração, permanecendo-o até a análise.

- Condutividade Elétrica (CE)

Os dados da condutividade elétrica foram obtidos com condutivímetro digital portátil com compensação automática de temperatura e escala de medição entre 0,00 mS cm⁻¹ e 19,99 mS cm⁻¹. A resolução do aparelho é de 0,01 mS cm⁻¹, com precisão $\pm 2\%$.

- Potencial Hidrogeniônico - pH

O pH foi estabelecido por meio da leitura direta de um potenciômetro digital, que contém eletrodo de vidro em associação com um eletrodo de calomelano que, colocados em contato com a solução revelam a concentração de íon H⁺ em solução. O pH foi verificado com um pHmetro digital, a faixa de leitura do aparelho era de 0,0 a 14,0, resolução de 0,01 e precisão de $\pm 1\%$.

- Cloretos

Para a determinação do teor de cloretos em mg/L foi utilizado o método argentimétrico: método de MOHR, no qual é usado a solução padrão de AgNO₃ na presença do indicador K₂CrO₄ (cromato de potássio). O procedimento embasa-se na precipitação do cloreto de prata que é branco e depois na precipitação do cromato de prata, que é vermelho indicando o final da titulação (BACCAN, 2001).

- Dureza

Para investigar o teor de dureza total (cálcio e magnésio) em mg/L, realizou-se através do método complexiométrico com uma solução padronizada de EDTA na presença dos indicadores Negro de Ericromo T e murexida.

- Amônia, Nitrato, Nitrito e Ferro

Os teores da amônia, de nitrito, do nitrato e de ferro foram avaliados pelo método colorimétrico utilizando uma tabela apropriada (comparador colorimétrico) para realizar a identificação dos resultados, de acordo com a cor apresentada obtida. Conforme kit de análise (reagentes e materiais) da marca ALFAKIT e seguindo as recomendações do mesmo.

- Temperatura

As temperaturas foram determinadas in loco com termômetro de mercúrio, usando grau *Celsius* ($^{\circ}\text{C}$), como unidade de temperatura termodinâmica.

- Alcalinidade Total

A alcalinidade total, foi determinada através do método volumétrico acidimétrico utilizando solução de ácido sulfúrico padronizado na presença dos indicadores fenolftaleína e metilorange.

- Sólidos Totais Dissolvidos

O teor de Sólidos Totais Dissolvidos foi encontrado através dos valores obtidos da condutividade elétrica, fazendo uma conversão de valor de acordo com Condutividade Elétrica (μs) multiplicada pelos Eletrólitos Dissolvidos (mg/L), de acordo com a fórmula (Quadro 10), seguindo Metcalf & Eddy (1991) & APHA (2005).

Quadro 10 – Fórmula para conversão de condutividade elétrica em sólidos totais dissolvidos

Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Eletrólitos Dissolvidos (mg/L)
Menor que 1.000	0,68 x C. E.
De 1.000 a 4.000	0,75 x C. E.
De 4.000 a 10.000	0,82 x C. E.

Fonte. METCALF & EDDY (1991); APHA (1992).

- Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais

Para obtenção dos resultados de coliformes totais e coliformes termotolerantes, por 100 ml de água, foram utilizados kits Colipaper, da ALFAKIT, encubados em estufa microbiológica por 15 horas a uma temperatura de 37° C.

As amostras foram coletadas em sacos plásticos de 250 ml. As cartelas foram mantidas dentro de sacos plásticos numa embalagem de isopor com pouco gelo, para evitar o congelamento. As cartelas passaram aproximadamente 2 h e 30 min no isopor antes de ir para estufa. Os resultados foram expressos em NMP (número mais provável de coliformes por 100 ml da amostra).

As análises foram feitas no mesmo dia das coletas, através do Kit microbiológico Colipaper, seguindo as recomendações do manual, cartela com meio de cultura em forma de gel desidratado que detecta e quantifica a presença de coliformes termotolerantes e coliformes totais, seguindo os passos descritos:

- A- Retira-se a cartela microbiológica tocando apenas acima do picote;
- B- Imerge a cartela na amostra e aguarda-se umedecer, em seguida retira-se o excesso de água com movimentos bruscos;
- C- Recoloca a cartela na embalagem plástica e retira a parte do picote sem tocar no restante, levando a estufa por 15 horas à temperatura de 37° C;
- D- Após 15 horas de incubação, retira-se da estufa e inicia a contagem das colônias.

3.3.4 Metodologia utilizada na realização da análise das amostras de efluentes lançados no Rio Parnaíba em 2018

A vulnerabilidade do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina é determinante por ser diretamente afetado com descarga de contaminantes de origem antrópico que de forma direta ou indireta gera fonte contaminadora e disseminadora de poluentes.

Utilizando amostras de sete (7) efluentes, aplicou-se metodologia de análise laboratorial para verificação da concentração dos parâmetros físico-químicos que lançados no canal do Rio Parnaíba, amálgama com as moléculas da água.

A metodologia de coleta, conservação e análises físico-químicas das amostras seguiram os procedimentos desenvolvidos para coleta de esgoto obedecendo normas pré-estabelecidas.

Cada teste químico foi efetuado em triplicata, considerando a média de cada avaliação como resultado final.

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: Condutividade Elétrica (CE), pH, Amônia, Nitrito, Nitrato.

A coleta se desenvolveu obedecendo os procedimentos necessários para um resultado confiável, com uma lavagem prévia dos frascos com o esgoto do ponto de coleta, em seguida repetir o processo para a coleta das amostras, sendo lacrado os recipientes, é levado à refrigeração, permanecendo-o até a análise.

- Condutividade Elétrica (CE)

Para obtenção do teor da condutividade elétrica dos efluentes foram obtidos com condutivímetro digital portátil com compensação automática de temperatura e escala de medição entre 0,00 mS cm⁻¹ e 19,99 mS cm⁻¹. A resolução do aparelho é de 0,01 mS cm⁻¹, com precisão ± 2 %.

- Potencial Hidrogeniônico - pH

O pH foi determinado pelo método instrumental utilizando-se um pHmetro digital, a faixa de leitura do aparelho era de 0,0 a 14,0, resolução de 0,01 e precisão de ± 1 %, calibrado com solução tampão pH 4,0 e pH 7,0 por meio da leitura direta, o qual contém eletrodo de vidro em associação com um eletrodo de calomelano que, colocados em contato com a solução revelam a concentração de íon H⁺ em solução do efluente.

- Amônia (NH₄⁺), Nitrito (NO₂⁻) e Nitrato (NO₃⁻)

Para se estimar de forma mais precisa dos efeitos de qualidade da água provocada pelos efluentes que caem diretamente na calha do rio, pôde-se determinar a quantidade de amônia, nitrito, nitrato, através de análise laboratoriais. Os quais foram avaliados pelo método colorimétrico utilizando uma tabela apropriada (comparador colorimétrico), de acordo com a cor apresentada obtida. Conforme kit de análise (reagentes e materiais) da marca ALFAKIT e seguindo as recomendações do mesmo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Há diversos conceitos sobre os temas discutidos nos resultados, no entanto, a finalidade da exposição do produto adquirido durante as investigações, vincula-se preferencialmente aos objetivos propostos para execução das pesquisas. Com respostas produzidas em decorrência dos estudos ambientais através da verificação do grau de vulnerabilidade ambiental e das análises físico-química e microbiológica das águas; da sedimentologia e batimetria do canal do rio, apresenta-se a seguir os resultados.

4.1 VULNERABILIDADE DO RIO PARNAÍBA EM RELAÇÃO A APP

Com o desenvolvimento da urbanização a fragilidade ambiental é inevitável, uma vez que são ocasionadas principalmente pelas intervenções do homem. Ross (1993), afirma que associado aos processos naturais, a ação humana cada vez mais se apropria dos recursos ambientais, alterando-os mais rápido do que a própria natureza o faria, quebrando o equilíbrio natural e propiciando um desequilíbrio temporário ou permanente.

Embora Li et al. (2006), descreva a vulnerabilidade para uma área montanhosa, o conceito se aplica a outras áreas ambientais, cujas características estão relacionadas ao meio físico e biótico, à pressão ambiental e a ocorrência de impactos ambientais. Como o objetivo é destacar a fragilidade de uma APP, entende-se que área antrópica não agrícola, área antrópica agrícola, área de vegetação natural, águas continentais e outras áreas, são os principais elementos para tal análise na referida área, considerando o conceito de vulnerabilidade definida por White (1974), destacando que é o grau em que um sistema ou componentes do sistema está exposto a perturbação ou estresse.

Visando destacar a fisionomia do rio Parnaíba, é importante notar que a instabilidade de seu curso d'água está relacionada a sedimentação atual do seu leito. Este fato, pode ser esclarecido por Yin, *et al.* (2018), explicando que o rendimento de sedimentos de bacias hidrográficas está relacionado à intensidade da construção urbana. Nesse sentido, os aspectos fisiográficos da margem direita do rio no trecho estudado, passa do contexto de fenômenos naturais a uma característica cuja representatividade está para área construída, acarretando no surgimento de elevadas taxas de sedimentos carreadas para a calha do rio.

Assim, Yin, *et al.* (2018), diz que a morfologia do rio urbano é uma parte significativa da estrutura da superfície. Contudo, percebe-se, em uma escala de detalhes que a relação entre

os dois mutuamente correspondem e que é entendido, no entanto, não aceitável, as deformações do canal do rio.

Com relação a evolução do rio em resposta às alterações da urbanização de suas margens, é razoável afirmar que: a morfologia do rio é determinada pela erosão, descarga e o sedimento do rio, que modificam sua estabilidade (CHURCH M. 2002). Estas alterações têm sido efetuadas em decorrência das atividades inadequadas às condições ambientais. Strahler (1956), afirma que as ações antrópicas ao perturbarem o estado de equilíbrio de um sistema fluvial, ocorrerá erosão e sedimentação, alterando consideravelmente a morfologia e estabilidade do rio. Mesmo considerando que a ação fluvial altera a topografia de seu canal, as condições de perturbações da margem são respostas de pressões antrópicas. A justificativa deve-se a Brigante e Espíndola (2003), onde afirmam que os rios por ter grande ligação com o ambiente de superfície, são classificados como sistemas abertos.

Assim, a condições de sistema aberto pressupõe uma necessidade de verificação da vulnerabilidade. Contudo, é possível listar algumas razões que a justifiquem:

- Implantação de setorização da área para análise e mapeamento;
- Classificação dos indicadores quanto a promoção ao perigo e ao risco da qualidade do canal do rio;
- Utilização de recursos e métodos para a determinação da vulnerabilidade.

Segundo Pine (2008), um indicador reflete quantitativamente um fenômeno e pode ser utilizado para entender a capacidade de uma determinada comunidade de absorver, enfrentar ou recuperar-se de um desastre.

Baseado no Decreto Nº 7.257, de 4 de agosto de 2010, tem-se desastre como resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

Para Weichselgartner (2001), a interação entre perigos naturais e sistema humano desencadeia os desastres naturais.

Fundamentado na proposta metodológica de Monteiro (2014), e adaptada para o referido estudo, pode-se dizer que existe uma diferença entre vulnerabilidade, perigo a vulnerabilidade e risco a vulnerabilidade.

Cutter *et al.* (2003) argumentam que a vulnerabilidade a perigos naturais pode ser estudada a partir de dois princípios: a) identificando as condições que fazem pessoas ou locais vulneráveis a perigos naturais; b) assumindo que a vulnerabilidade é uma condição social.

Assim, pode-se dizer que a vulnerabilidade do rio consiste na limitação do canal com a influência dos indicadores ambientais (categorias) da APP. E o perigo a maior vulnerabilidade, está relacionada a probabilidade e/ou magnitude do evento, enquanto o fator de risco vincula-se a informações adicionais sobre as consequências do assoreamento, erosão etc.

4.1.1 A classificação da vulnerabilidade do Rio Parnaíba

A necessidade de descrever separadamente cada categoria de vulnerabilidade da APP requer verificar os elementos a partir de seu recorte e classificação sistematizada do uso da terra.

Esta classificação é dada pelo IBGE (2013), através do manual técnico de uso da terra que expõe seu uso em sistema multinível, apresentado em uma divisão de três níveis. Aumentado um nível para o estudo, visando a caracterização em uma escala de maiores detalhes (QUADRO 11).

O nível I, forma o grupo das classes, contendo cinco (5) itens que indica as principais categorias da cobertura da terra, com áreas antrópicas não agrícolas, áreas antrópicas agrícolas, área de vegetação natural, água e outras áreas.

O nível II, compõe o grupo das subclasses, englobando 7 itens, apresentando características bastante heterogêneas, destacando as áreas urbanizadas, área de mineração, culturas temporárias, silvicultura, área florestal, águas continentais e áreas descobertas.

O nível III, compreende o grupo das unidades, com características ainda heterogênea, é formada por nove unidades, são elas: área urbano industrial, outras áreas urbanas, minerais não metálicos, culturas temporárias diversificadas, reflorestamento, unidade de conservação de proteção integral em área florestal, unidade de conservação de uso sustentável em corpo d'água continental, receptor de efluente em corpo d'água continental e uso não identificados em áreas descobertas.

O nível IV, consiste no grupo das categorias, apresentando características mais homogêneas, é estruturada em quatorze (14) categorias, discriminadas em: atividade industrial, atividade comercial, concentração urbana alta, concentração urbana baixa, vias pavimentadas, talude e terraço pavimentado, dragagem, atividade agrícola, plantio heterogêneo, plantio consorciado, parques ambientais e praças, sistema fluvial, esgoto e solo exposto.

Quadro 11 – Classificação da cobertura e uso da terra

Nível I Classe	Nível II Subclasse	Nível III Unidades	Nível IV Categorias	Descrição
1 – Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1 – Área Urbanizada	1.1.1– Área Urbano Industrial	1.1.1.1– Atividade Industrial	Áreas em que o segmento industrial é constituído por um número significativo de plantas industriais, desde micro e pequenas unidades até grandes empresas
			1.1.1.2– Atividade Comercial	Áreas ocupadas por complexos comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas
			1.1.1.3- Concentração Urbana Alta	Áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas
		1.1.2– Outras Áreas Urbanas	1.1.2.1 – Concentração Urbana Baixa	Predomínio de áreas em processo de urbanização incipiente
			1.1.2.2- Vias Pavimentadas	Áreas de uso intensivo, estruturadas por sistema viário
			1.1.2.3- Talude e Terraço pavimentado	Áreas com impermeabilização contínua, sem vegetação
	1.2 – Área de Mineração	1.2.1 – Minerais Não Metálicos	1.2.1.1 - Dragagem	Áreas de exploração/extração de sedimentos minerais não metálicos
2 – Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1– Culturas Temporárias	2.1.1– Culturas Temporárias Diversificadas	2.1.1.1 – Atividade Agrícola	Mosaicos que envolvem a utilização de mais de três produtos
	2.2- Silvicultura	2.2.2- Reflorestamento	2.2.2.1 – Plantio Heterogêneo	Área de enriquecimento de florestas e de recuperação das matas ciliares
			2.2.2.2 – Plantio Consorciado	Áreas com espécies florestais entremeadas de espécies agrícolas de ciclo curto
3 – Área de Vegetação Natural	3.1– Área Florestal	3.1.1- Unidade de Conservação de Proteção Integral em Área Florestal	3.1.1.1 – Parques Ambientais e Praças	Áreas onde a exploração ou o aproveitamento dos recursos naturais estão vedados, admitindo apenas o aproveitamento indireto dos seus benefícios, com exceção dos casos previstos por lei (APP)

4 – Água	4.1– Águas Continentais	4.1.1– Unidade de Conservação de Uso Sustentável em Corpo d'Água Continental	4.1.1.1– Sistema Fluvial	Áreas nas quais a exploração e o aproveitamento econômico direto são permitidos, mas de forma planejada e regulamentada (LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012).
		4.1.2 – Receptor de Efluente em Corpo d'Água Continental	4.1.2.1 - Esgotos	Condição de descarga de águas pluviais e de efluentes domésticos, industriais etc. no leito do rio
5 – Outras Áreas	5.1 – Áreas Descobertas	5.1.1 – Uso não Identificados em Áreas Descobertas	5.1.1.1 – Solo Exposto	Áreas sem coberturas, majoritariamente abandonadas

Fonte: Costa 2019. Adaptado do IBGE (2013)

Quanto a dimensão espacial na área, enfatizado pelo impacto no sistema, originando uma nova classificação para a paisagem, cuja técnica consiste na homogeneização de elementos influenciadores do canal do rio.

Desta maneira, o sistema se compõe com os indicadores responsáveis pelo equilíbrio da dinâmica do rio e pelos indicadores responsáveis por seu desequilíbrio.

Contudo, as categorias apresentam singulares características inerente a APP do Rio Parnaíba. Entretanto, essas categorias/parâmetros/indicadores, destacam-se por não apresentarem homogeneidade (TABELA 4).

O sistema fluvial é formado por um conjunto de indicadores (categorias) apresentados pelo canal fluvial, lagoas e Área de planície e terraço não pavimentados.

O sistema de galerias ou esgoto compreende oito (8) galerias distribuídas em três setores. Uma localizada no setor Sul, seis no setor Centro e uma no setor Norte 1.

Tabela 4 – Variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade

Escala Quantitativa dos Indicadores de Vulnerabilidade						
Classe	Subclasse	Área Km ²	Categorias			
			Nome	Área		Descrição
				Km ²	%	
Atividades Antrópicas Não Agrícolas	Área Urbanizada	1,4	- Atividade Industrial	0,08	5,71	Dos quatro setores considerados na APP, somente dois deles realizam atividade industrial, são os setores Sul e Centro. No entanto, a maior concentração está no Setor Sul. São exemplos: Cosmético, bebidas, de transformação, alimentos e de vestuário.
			- Atividade Comercial	0,40	28,57	O setor Centro corresponde ao que mais concentra esta atividade. Diversificados em alimentícios, medicamentos, combustíveis, agrotóxicos, pesticidas etc.
			- Concentração Urbana Alta	0,31	22,15	Dos quatro setores considerados na APP, somente dois deles apresentam uma concentração urbana alta, são os setores Sul e Centro. A explicação para tal característica se dá a partir da relação de desenvolvimento econômico entre os setores verificados.
			- Concentração Urbana Baixa	0,36	25,71	Os quatro setores compartimentado apresentam concentração urbana baixa. Como resultado têm-se condições naturais alteradas na referida APP. Nestas áreas as construções residenciais intercalam com elementos naturais, principalmente vegetação.
			- Vias Pavimentadas	0,22	15,71	Dos quatro setores considerados na APP, apenas dois deles apresentam trechos pavimentados, setor Centro e setor Norte 1. Vale ressaltar que somente foi considerado a pavimentação de relevância (somente as avenidas principais).
			- Talude e Terraço pavimentado	0,03	2,15	O setor Centro se destaca por ser o único na APP a dispor de margem com talude e terraço pavimentado. Cujas características descrevem área revestida de cimento, tornando-a impermeável.
	Área de Mineração	0,02	- Dragagem	0,02	100	Dos quatro setores considerados na APP, somente dois deles, setor Sul e Norte 1, dispõem de área de mineração. Essas atividades são responsáveis por grandes impactos ao meio ambiente. Contudo, o nível das mesmas, podem ultrapassar os impactos descritos, pois além da retirada de sedimentos da calha do rio, os mesmos podem ser responsabilizados pela descarga de sedimentos no canal, podendo provocar o assoreamento do rio e um soterramento na área percorrida pelos sedimentos.
Áreas Antrópicas Agrícolas	Cobertura Vegetal	2,52	Atividade Agrícola	0,25	9,92	Dos quatro setores considerados na APP, apenas o setor Norte 2 não desenvolve atividade agrícola. É uma atividade temporária, desenvolvida em áreas de inundação, com produção destinada ao uso de subsistência da população local.
			Plantio Heterogêneo	0,57	22,62	Todos os setores considerados na APP, mantém manchas desse plantio. Está representada por uma vegetação arbórea e fechada.

			Plantio Consociado	1,70	67,46	Todos os setores considerados na APP, mantém manchas desse plantio. São vegetações que se encontram dispersas uma das outras.
Área de Vegetação Natural	Área Florestal	0,18	Parques Ambientais e Praças	0,18	100	Dos quatro setores considerados na APP, somente dois deles, setor Centro e Norte 1, compartilham dessa categoria. São Parques Ambientais Municipais: Parque Ambiental Encontro dos Rios, criado através da Lei 2.265, com uma área espacial de 3 hectares e Parque Prainha, criado sob a Lei nº 4773/65 do Código Florestal e pela Lei Municipal 2475/96. As praças foram construídas sob a conservação arbórea local.
Água	Sistema Fluvial	0,25	Canal Fluvial	0,04	16	O setor Norte 2, é o único que dispõe desse recurso hídrico. Atualmente é o único canal com relevância para a escala utilizada. O rio Poti tem grande influência sobre o rio Parnaíba, é o divisor entre o médio e o alto Parnaíba.
			Lagoas	0,05	20	O setor Centro é o único que contém lagoas. Uma fazendo parte de um parque ambiental (apenas parte da lagoa está dentro da APP), e a outra é uma lagoa de captação de efluentes para tratamento químico.
			Área de planície e terraço não pavimentados	0,16	64	Todos os setores considerados na APP possuem áreas de planície e terraço não pavimentados. São pequenas áreas que estão sob influência das ações antrópicas. A área do setor Norte I, está menos impactado, mas é alterado pela concentração urbana baixa. Em tempos de chuva algumas áreas ficam inundadas.
	Sistema de Galerias	8	Galeria Seção Sul	*	49,5 m ³ /h	Dos quatro setores considerados na APP, três deles: setor Sul, Centro e Norte 1, dispõe de galerias de esgotos. As galerias ativas, ou seja, as que despachavam águas servidas são no total de 8, uma localiza-se setor Sul, outra no setor Norte 1 e seis delas, no setor Centro. Seu valor está expresso neste quadro em m ³ /h.
			Galerias Seção Centro	**	53,5 m ³ /h	
			Galeria Seção Norte I	***	315 m ³ /h	
Outras Áreas	Áreas Descobertas	0,50	Solo Exposto	0,50	100	Todos os setores considerados na APP apresentam-se com solo exposto em sua área. O solo descoberto se distribui irregularmente pela área da APP, tornando-se assim propício às ações erosivas.

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de 10/2018).

* 1 Galeria localizada no setor Sul

** 6 Galerias localizadas no setor Centro

*** 1 Galeria localizada no setor Norte I

Os indicadores ambientais, como o próprio nome diz, são elementos naturais e ou antropizados potencialmente capazes de colocar um sistema (rio) em risco de degradação.

Confinados em uma área de APP, sob a medida de 200 m de largura se desenvolveram reflorestamento; Sistema fluvial, como canal fluvial (Rio Poti), lagoas e áreas de planície e terraço; Áreas florestal, com parque ambiental e/ou praças. Os indicadores citados são considerados positivos, por não representar grandes risco ao canal do rio, a menos que os mesmos, sejam retirados ou alterados.

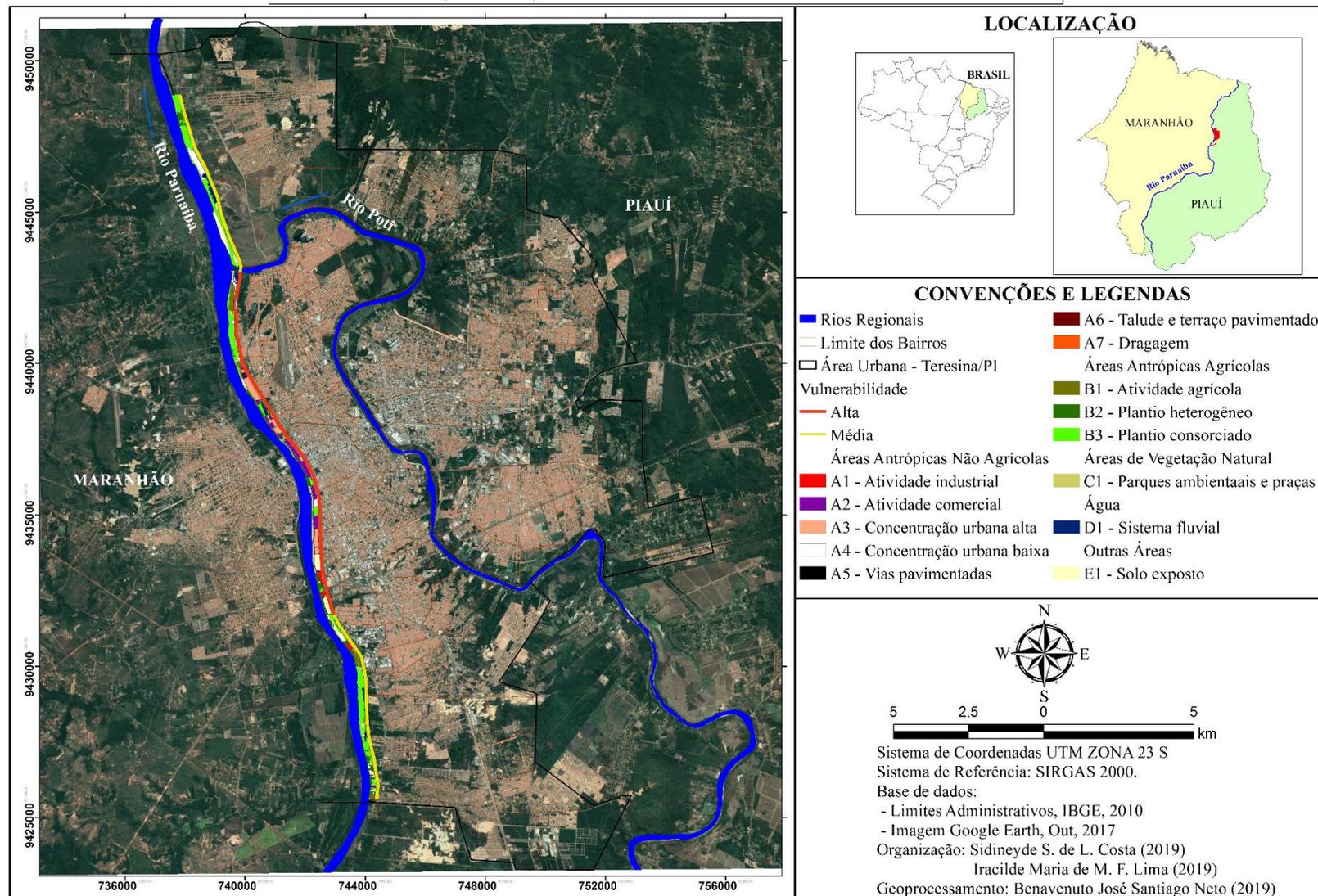
Uma vez alterados e ou retirados os indicadores positivos, agregam-se aos indicadores negativos, como área descoberta, que fica totalmente desprovido de qualquer elemento que o proteja. A utilização do solo, para a ocupação com a implantação de áreas urbanizadas apresentando alta ou baixa concentração populacional, que a partir de então, introduz-se também vias pavimentadas, aumentando a impermeabilidade do solo e conseqüentemente o risco de degradação do rio.

Nesta concepção, as culturas temporárias, como atividade agrícola, e as área de mineração, ocupam trechos da APP com capacidade de gerar desequilíbrio ao sistema.

Em contraposição ao canal fluvial que deságua no rio, as galerias de esgotos localizados na margem do rio, aponta uma elevada quantidade de águas servidas caindo diretamente em seu canal.

Assim, pode-se afirmar que as condições que caracteriza este segmento do rio, estar compartimentada entre os setores Sul, Centro, Norte I e Norte II (figura 24), cujas extensões se diferenciam em relação as atividades desenvolvidas na APP.

Figura 24 – Mapa Teresina (Piauí) - Vulnerabilidade Ambiental



Fonte. Costa; Lima (2019).

Nesse contexto, destaca-se como complemento de avaliação análise de perigo e análise de risco do rio.

Para o United Nations Development Programme – UNDP (2004), perigo natural são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem construir um evento danoso.

Sendo assim, pode-se dizer que o perigo de desastres naturais desencadeado no canal do rio, estar relacionado a inundações, erosão de suas margens, assoreamento do canal etc.

Para Monteiro (2011) existem diferentes níveis de perigo que podem causar diferentes tipos de dano, destacando os níveis: baixo, médio e alto.

O perigo estimado determinado a partir da densidade de ocorrência dos indicadores ambientais da área configura uma intensidade (Índice de Perigo) que varia entre 0,1 e 0,4 m² para a baixa, 0,5 a 0,7 m² para a média e de 0,8 a 1,0 m² para a alta.

Com relação a risco ambiental, Goerl *et al.* (2012), destaca que risco é uma função do Perigo e da Vulnerabilidade. Sua definição é inerente à possibilidade do canal de sofrer a desastres naturais.

Vale ressaltar o significado do risco ambiental para o Rio Parnaíba, enfatizando que colocar em risco o canal do rio estar relacionado a uma redução no volume de suas águas, tornando-a turva impedindo a entrada de luz, dificultando assim, a renovação do oxigênio necessário aos organismos aquático, além do alargamento do canal, também promove a obstrução da passagem da água em direção a jusante do curso, prejudicando o abastecimento do final do médio Parnaíba (trecho urbano de Teresina) e conseqüentemente, o baixo Parnaíba.

De acordo com UNDP (2004), vulnerabilidade e risco são condicionados por atividades humanas.

4.1.1.1 Setor Sul

O Setor Sul perfaz uma área de 1,2 quilômetro quadrados, iniciando no bairro Angelim nas coordenadas 9425583.58 m S; 744116.83 m E, finalizando no bairro Saci, nas coordenadas 9431698.79 m S; 742685.67 m E. Os bairros que estão inseridos no referido setor são: Angelim, Areias, Distrito Industrial e parte do bairro Saci.

A vulnerabilidade deste setor resulta da alteração dos indicadores considerados positivos ao sistema ambiental, através da introdução dos indicadores negativos por ação antrópica, onde cada um ocupa uma determinada área dentro do setor (TABELA 5).

Tabela 5 – Indicadores ambientais do Setor Sul da cidade de Teresina

SETOR SUL			
INDICADOR POSITIVO	ÁREA Km ²	INDICADOR NEGATIVO	ÁREA Km ²
Reflorestamento	0,84	Área Urbano Industrial	0,05
Unid. de Cons. de Uso Sust. em Corpo d'Água Cont.	0,05	Outras Áreas Urbanas	0,05
		Cult. Temp. Divers.	0,08
		Minerais Não Metálicos	0,01
		Uso não Ident. em Áreas Descobertas	0,12

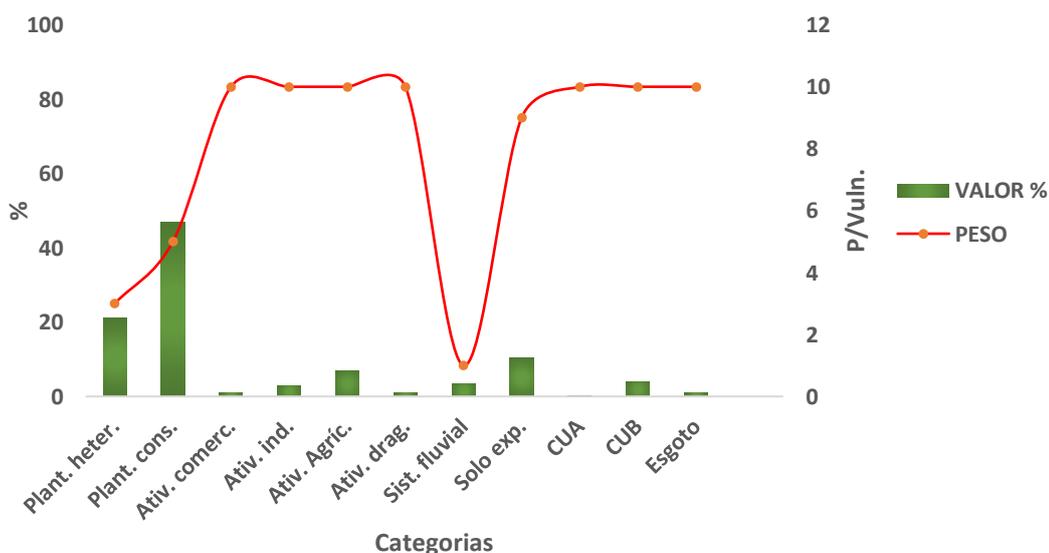
Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Dos indicadores ambientais (gráfico 6), o mais significativo para o comprometimento do rio, são as áreas urbano industrial, são indicadores negativos que além de ocupar cerca de 4,1% da APP, podem ser classificadas como os mais expressivos em relação a geração de resíduos e efluentes potencialmente poluidores na seção.

A cobertura vegetal ao longo dos anos foi substituída por outros diversos tipos de vegetação, não propositalmente, mas, pela necessidade de reflorestamento. Atualmente neste setor há cerca de 21% de plantio heterogêneo e 49% de plantio consorciado.

O sistema fluvial é formado apenas pelas Áreas de planícies e terraços não pavimentados, abrangendo cerca de 3,5% da área total.

Gráfico 6 – Demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no Setor Sul



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Observa-se ainda que 10,3% da área encontra-se sob um solo desnudo, favorecendo em um processo de erosão intenso e conseqüentemente, um arrasto de sedimentos para o canal do rio.

Como característica da urbanização, a área apresenta concentração urbana baixa com cerca de 4,0%, onde a população divide terrenos com vegetação e apenas 0,2% de concentração urbana alta.

A relação entre os indicadores ambientais e o rio estabelece um desequilíbrio para o canal do rio, o que classifica esse setor com área de média vulnerabilidade ambiental, com o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) 5,7. Ou seja, o estado de equilíbrio do rio está comprometido em razão das atividades exercidas na área. (TABELA 6)

Tabela 6 – Índice final de vulnerabilidade setor Sul

INDICADOR	VALOR	PESO	IVA
Plantio heterogêneo	21,0	3	5,7
Plantio consorciado	47,0	5	
Atividade comercial	1,0	10	
Atividade industrial	3,0	10	
Atividade agricultável	7,0	10	
Atividade de mineração	1,0	10	
Sist. fluvial	3,5	1	
Solo exposto	10,3	9	
CUA	0,2	10	
CUB	4,0	10	
Esgoto	1,0	10	

Fonte: Costa 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

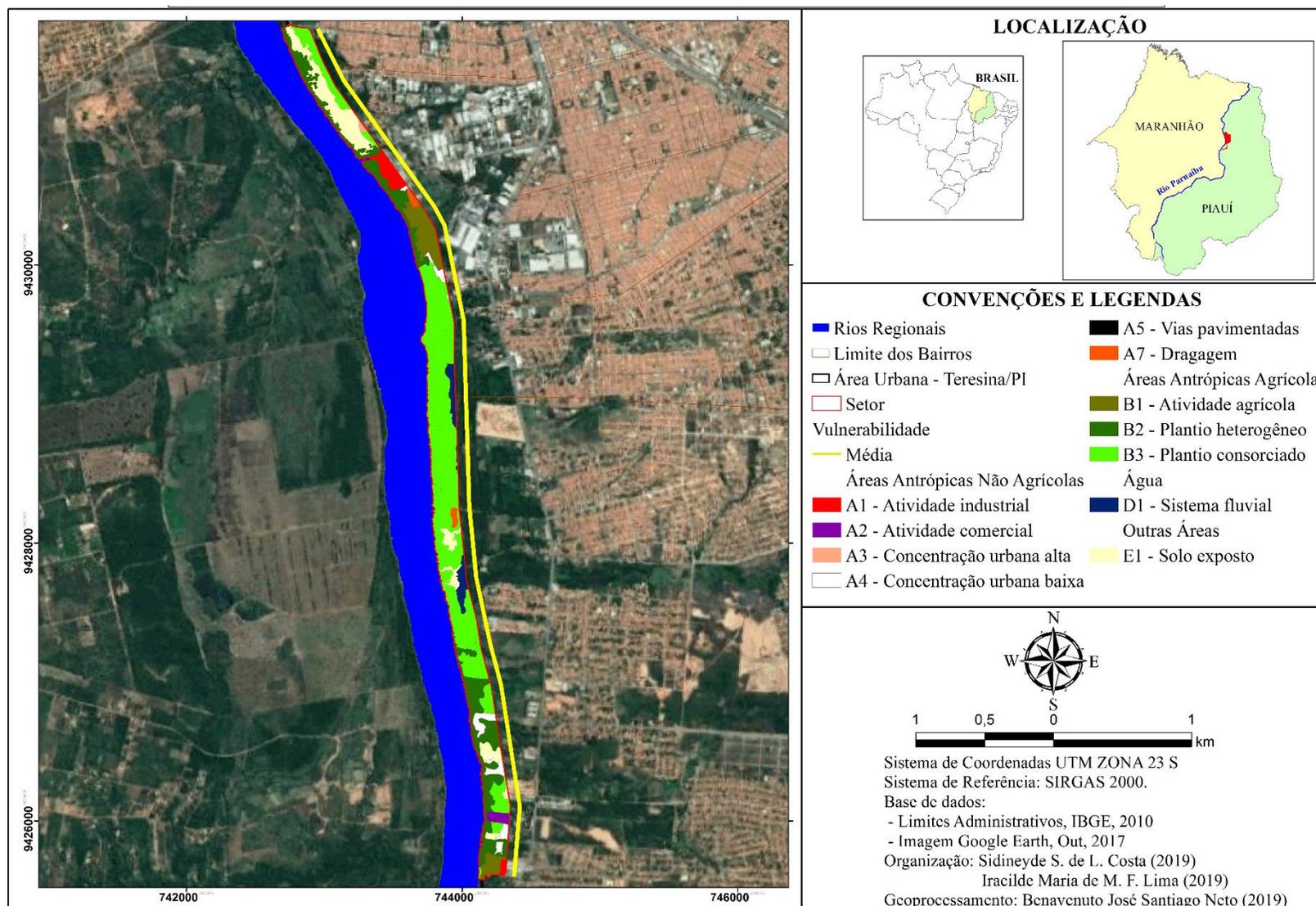
No entanto, comparado aos demais setores, pode-se dizer que é o setor com maior indicador natural agregando, com 71% da área. Em contraposição, são vários os indicadores potencialmente negativos que se estabeleceram no setor, aumentando nível de vulnerabilidade ambiental.

A influência dos indicadores ambientais está para a APP, assim como está para o canal do rio. A avaliação qualitativa torna-se fundamental, observado que as atividades antrópicas dominam toda a área, até mesmo nas áreas descobertas há vestígio de intervenção, principalmente com o desmatamento florestal. É possível perceber que os canais fluviais foram interrompidos e as áreas de inundação estão soterradas, dando lugar a áreas construídas (FIGURA 25).

Além dos 200 metros de APP, há continuidade de planície fluvial. As condições que a caracteriza são fortemente impactantes, verificando a existência de diversas outras atividades prejudiciais ao sistema ambiental, dentre eles destaca-se o uso do solo para descarga de águas servidas e como sepulcrário.

Verifica-se também a jusante do cemitério, a cerca de um quilômetro distante, a localização da estação de coleta e distribuição de água para a cidade.

Figura 25 – Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Setor Sul



Fonte: Costa; Lima (2019).

Há nítido panorama na área em estudo relacionado ao perigo natural gerado pelo uso da APP. Os indicadores ambientais apontam uma densidade de uso de 70% de indicadores positivos e 30% de indicadores negativo. Deste rol, os indicadores negativos respondem pelo perigo estimado ao rio, com um valor de 0,3 para este setor (QUADRO 12). Na lógica, tem-se um perigo estimado de baixo potencial a possibilidade de catástrofe.

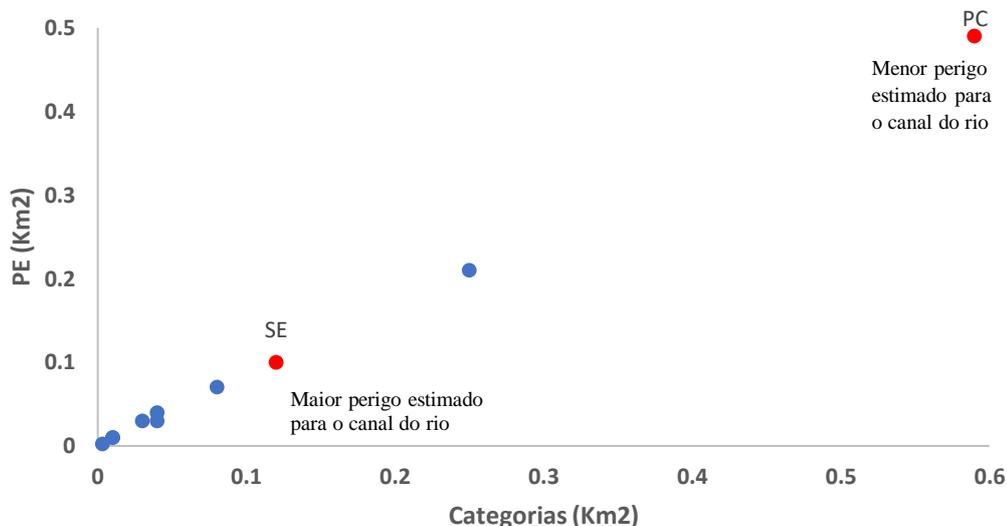
Quadro 12 – Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Sul - trecho urbano de Teresina

Densidade de ocorrência dos indicadores ambientais			
Caracterização	Categorias	PE %	PE (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,21	0,3
	Plantio consorciado	0,49	
	Sistema fluvial	0,03	
Indicadores negativos	Atividade comercial	0,01	
	Atividade industrial	0,03	
	Atividade agrícola	0,07	
	Atividade de dragagem	0,01	
	Solo exposto	0,10	
	CUA	0,002	
	CUB	0,04	
Esgoto	0,00		

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Dentre os indicadores que representam maior perigo ao rio, destaca-se os solos expostos com cerca de 0,1% de densidade de ocorrência. A categoria que representa menor perigo ao canal do rio são os plantios consorciados, com 0,49% de densidade de ocorrência, sendo um indicador positivo. As demais categorias negativas exercem menor influência ao rio (GRÁFICO 7).

Gráfico 7 – Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Sul - trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

A função principal da análise de risco consiste em detectar os desastres ambientais antecipadamente para impedir ou reduzir seus efeitos. O processo de erosão das margens e do leito do rio está relacionado aos fatores desencadeadores de desastres.

O caráter de risco de 1,54%, identificado pela análise pode ser justificada pela baixa potência dos indicadores negativos do setor (QUADRO 13).

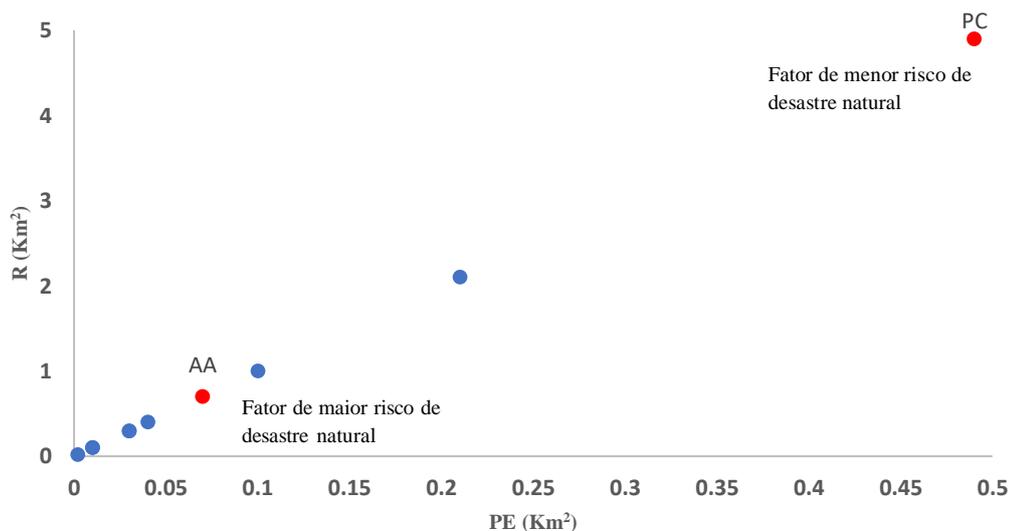
Quadro 13 – Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Sul - trecho urbano de Teresina

Análise de Risco Ambiental				
Caracterização	Categorias	PE %	Risco (%)	R (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,21	0,30	1,54
	Plantio consorciado	0,49	0,75	
	Sistema fluvial	0,03	0,05	
Indicadores negativos	Atividade comercial	0,01	0,02	
	Atividade industrial	0,03	0,05	
	Atividade agrícola	0,07	0,10	
	Atividade de dragagem	0,01	0,01	
	Solo exposto	0,10	0,20	
	CUA	0,002	0,003	
	CUB	0,04	0,06	
Esgotos	0,00	0,00		

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

No gráfico 8, apresenta-se os indicadores ambientais (categorias), em uma linha de tendência destacando os que representam maior e menor risco ao rio. O plantio consorciado indica o fator que contribui em menor potencial (0,75), em riscos ambientais ao canal do rio, já as atividades agrícolas com (0,1), são as que contribuem em potencial a riscos para o canal.

Gráfico 8 – Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do rio, setor Sul - trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

4.1.1.2 Setor Centro

O setor Centro situa-se entre as coordenadas 742685.67 m E; 9431698.79 m S, e 739652.92 m E; 9440021.67 m S. Ocupa uma faixa de 1,89 quilômetros quadrados, constituídas pelos bairros: Saci (extremidade norte), Santa Luzia, Tabuleta, São Pedro, Vermelha, Centro, Matinha, Pirajá, Acarape e parte do bairro Matadouro.

O cenário apresenta problemas com a concentração das atividades urbanas, principalmente com a impermeabilização do solo através da cobertura com material que consolida os sedimentos (cimento), uma vez que o rio depende também da disponibilidade da planície fluvial para a manutenção do fluxo.

No domínio das ações antrópicas, prepondera os indicadores negativos em quantidade e em densidade, contrapondo a indicadores positivos, proporcionando um grau maior de vulnerabilidade ao rio, marcado principalmente pela ausência da magnitude de seus elementos (TABELA 7).

Tabela 7 – Indicadores ambientais do Setor Centro

SETOR CENTRO			
INDICADOR POSITIVO	ÁREA Km²	INDICADOR NEGATIVO	ÁREA Km²
Reflorestamento	0,43	Área Urbano Industrial	0,75
Unid. de Cons. de Uso Sust. em Corpo d'Água Cont.	0,06	Outras Áreas Urbanas	0,31
Unid. de Cons. de Prot. Int. em Área Florestal	0,15	Cult. Temp. Divers.	0,03
		Uso não Ident. em Áreas Descobertas	0,16

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Em uma área dominado por parâmetros introduzidos no sistema ambiental, os indicadores naturais que ali se encontram, são inibidos, destacando ainda a influência das galerias de esgotos que caem diretamente na calha do rio, e contribui para alta vulnerabilidade do mesmo.

Os parâmetros são caracterizados por sua extensão, podendo atingir de forma direta o fluxo do rio. As categorias dos parâmetros ambientais neste setor (tabela 7), englobam área de reflorestamento com 22,9% da área e unidade de conservação de proteção integral em área florestal com cerca de 8,2%.

Apenas 3,0% da área faz parte da unidade de conservação de uso sustentável em corpo d'água continental. Destacando a influência de lagoas como um ponto de equilíbrio do sistema. Chamando a atenção para a existência de pelo menos duas lagoas localizadas no setor, do qual desempenham papel de armazenamento d'água e outra de tratamento de águas servidas.

Ressalta-se que a área urbano industrial pode ser considerada como um dos principais fatores de vulnerabilidade ao canal do rio, subdividindo-se em: 20,4% de área comercial, 2,7% com atividade industrial e cerca de 16,3% de concentração urbana alta.

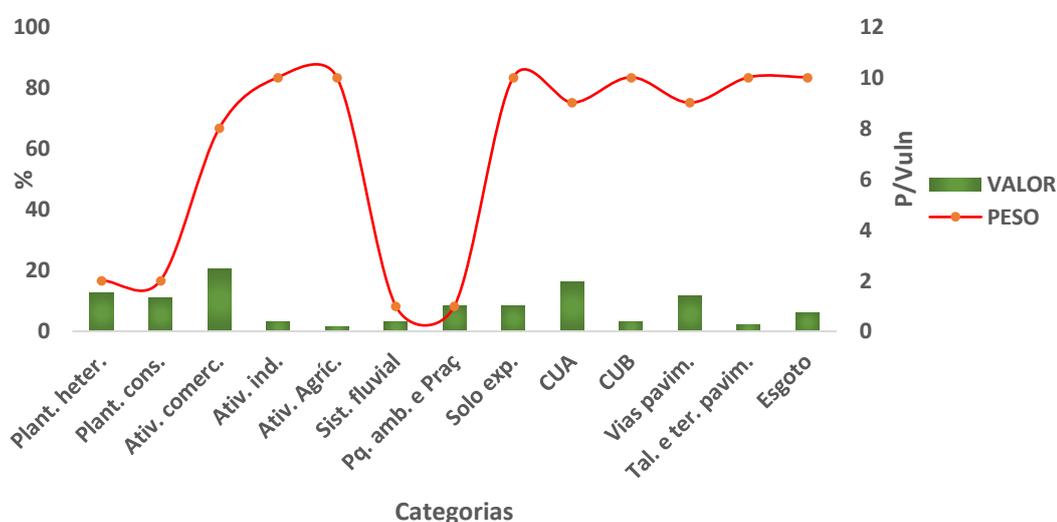
Verifica-se ainda outras áreas urbanas como relevantes para avaliação da vulnerabilidade, como 11,4% de vias pavimentada, 3,1% de concentração urbana baixa e aproximadamente 1,9% de Talude e terraços pavimentados, são áreas que foram totalmente recobertas por cimentos, tornando o solo mais impermeável, a exemplo têm-se a área onde funciona o comércio denominado Troca-Troca, é um terraço fluvial que durante as cheias fica submerso.

.As culturas temporárias diversificadas representam importantes funções para manutenção alimentícia, que foram introduzidas na seção, com cerca de 1,4% de ocorrência.

Um outro aspecto que deve ser considerado é uso não identificados em áreas descobertas, com apenas duas pequenas áreas totalmente sem cobertura. Essa parte em que o solo está exposto representa cerca de 8,5% de ocorrência na área.

Os esgotos estão em grandes quantidades distribuídos em todo o setor, contribuem para uma área de maior vulnerabilidade, no gráfico 9 é representado por seis galerias desaguando direto no canal.

Gráfico 9 – O gráfico demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no Setor Centro



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Sinais de instabilidade são observados quando constatado fenômenos erosivos nas margens do rio.

Sob a condição de adensamento urbano, pode-se verificar que a APP não se classifica como uma alternativa de equilíbrio do rio. Flutua uma alternância entre construções residenciais e construções comerciais, neste último havendo comércio de combustível, o que favorece possivelmente uma contaminação do rio por hidrocarbonetos, já que nos postos de combustíveis, em suas atividades de abastecimento, há vazamentos (derrames) no piso da área, acarretando carreamento do mesmo para os canais de esgotos ou diretamente para o canal do rio. Ressaltando ainda a atividade de lavagem de carros em toda a margem do rio, maximizando o efeito de vulnerabilidade do rio.

O avanço das ações antrópicas influencia diretamente o equilíbrio do rio, logo o setor Centro é considerado uma área que proporciona alta vulnerabilidade ao seu canal, com um Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) 6,64 (TABELA 8).

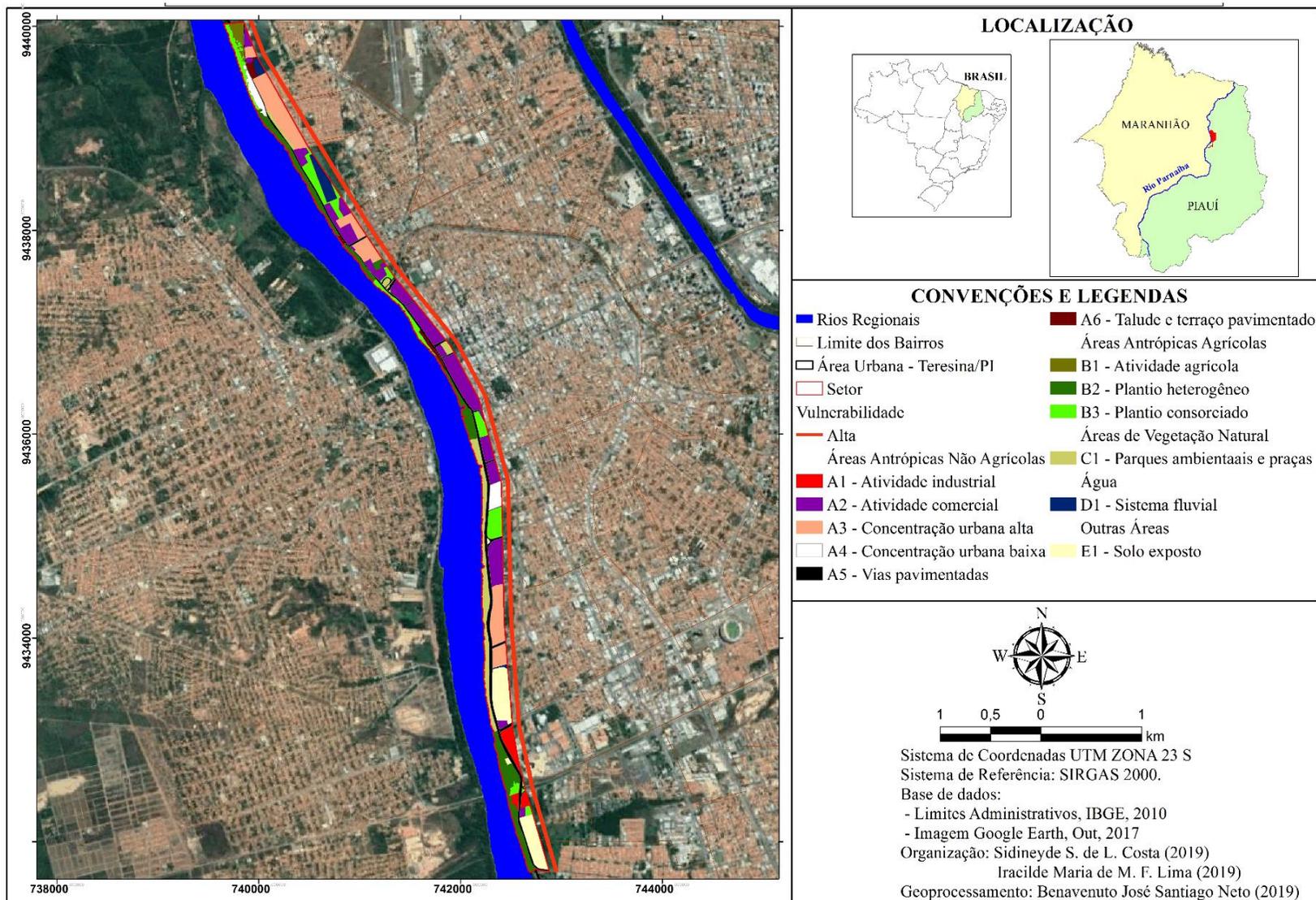
Tabela 8 – Índice final de vulnerabilidade setor Centro

INDICADOR	VALOR	PESO	IVA
Plantio heterogêneo	12,5	2	6,64
Plantio consorciado	11,0	2	
Atividade comercial	20,5	8	
Atividade industrial	3,0	10	
Atividade agrícola	1,5	10	
Sistema fluvial	3,1	1	
Pq. ambiental e praças	8,5	1	
Solo exposto	8,5	10	
CUA	16,3	9	
CUB	3,1	10	
Vias pavimentadas	12,0	9	
Talude e terraço pavimentado	2,0	10	
Esgoto	6,0	10	

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

A influência antrópica na determinação das concentrações de atividades na APP é testificada pela figura 26, demonstrando a vulnerabilidade do setor.

Figura 26 - Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Setor Centro



Fonte. Costa; Lima (2019).

As concentrações dos indicadores negativos apontam para uma densidade de ocorrência de 64% da área sobre 36% de indicadores considerados positivos. A relevância dessa concentração testemunha o perigo estimado ao rio, apresentando um valor de cerca de 0,6 para este setor (QUADRO 14). Caracterizando como perigo estimado de médio potencial à possibilidade de catástrofe.

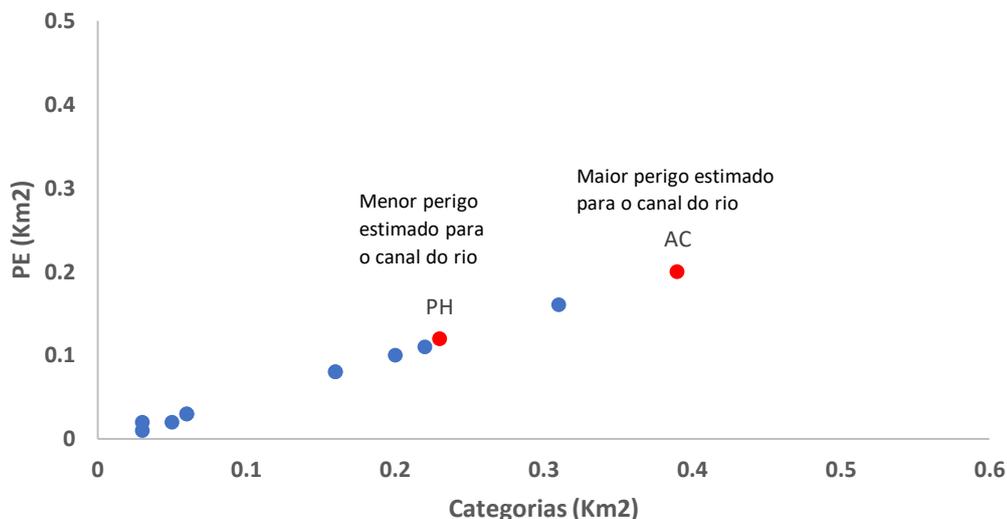
Quadro 14 – Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Centro - trecho urbano de Teresina

Densidade de ocorrência dos indicadores ambientais			
Caracterização	Categorias	PE %	PE (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,12	0,6
	Plantio consorciado	0,11	
	Sistema fluvial	0,03	
	Parque Ambiental e Praças	0,10	
Indicadores negativos	Atividade comercial	0,20	
	Atividade industrial	0,03	
	Atividade agrícola	0,01	
	Solo exposto	0,08	
	CUA	0,16	
	CUB	0,03	
	Vias pavimentadas	1,10	
	Talude e terraços pavimentados	0,20	
Esgotos	0,00		

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Por ser mais abrangente na área e de aspecto negativo, as atividades comerciais representam maior perigo ao rio, com cerca de 0,2% de densidade de ocorrência. A categoria que representa menor perigo ao canal do rio são os plantios heterogêneos, com 0,12% de densidade de ocorrência, sendo um indicador positivo (GRÁFICO 10). As demais categorias negativas exercem menor influência.

Gráfico 10 – Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Centro – trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Aliado ao perigo estimado para o rio, os riscos de desastres naturais tendem-se a potencializar com a densidade de ocorrência de indicadores negativos. Os riscos descrevem a uma magnitude de 4,25%, categorizada com risco de média intensidade (QUADRO 15).

Os riscos mais comuns neste setor podem estar relacionados a obstrução de parte do canal, assim como aumento do volume de água com destaque para enchentes.

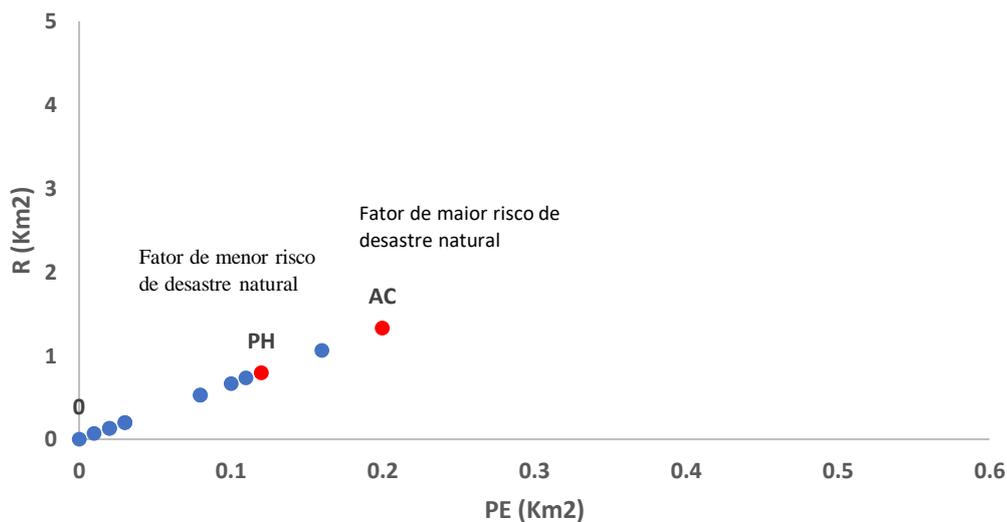
Quadro 15 – Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Centro - trecho urbano de Teresina

Análise de Risco Ambiental				
Caracterização	Categorias	PE %	Risco (%)	R (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,12	0,51	4,25
	Plantio consorciado	0,11	0,43	
	Sistema fluvial	0,03	0,13	
	Parque Ambiental e Praças	0,10	0,34	
Indicadores negativos	Atividade comercial	0,20	0,90	
	Atividade industrial	0,03	0,09	
	Atividade agrícola	0,01	0,04	
	Solo exposto	0,08	0,34	
	CUA	0,16	0,70	
	CUB	0,03	0,13	
	Vias pavimentadas	0,11	0,50	
	Talude e terraços pavimentados	0,20	0,09	
Esgotos	0,00	0,00		

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

O gráfico 11, aponta os indicadores ambientais (categorias), em uma linha de tendência com maior e menor risco ao rio. O plantio heterogêneo indica o fator que contribui em menor potencial (0,51) para desencadear riscos naturais ao canal do rio, já as atividades comerciais (0,9), são as que contribuem em potencial a riscos naturais para o canal.

Gráfico 11 – Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do rio, setor Centro - trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

4.1.1.3 Setor Norte 1

O Setor Norte 1 situa-se entre o início da APP não pavimentada, zona norte, e a borda esquerda do Rio Poti (desembocadura) entre as coordenadas 9440021.67 S; 739652.92 E. e 9443077.00 S; 739564.00 E, abrangendo uma área de 0,61 quilômetro quadrado, formada pelos bairros: Matadouro (extremo norte), São Joaquim e bairro Olarias.

A fisiografia é formada por reflorestamento, unidade de conservação de uso sustentável em corpo d'água continental, unidade de conservação de proteção integrada em área florestal, outras áreas urbanas, cultura temporária diversificada e uso não identificado em áreas descobertas (TABELA 9).

O desequilíbrio existente entre o rio e a APP corresponde a baixa concentração e distribuição dos parâmetros que proporcionam magnitude ao mesmo, destacados como indicadores positivos pelo qual permite ponderar a vulnerabilidade do rio em relação aos indicadores negativos (TABELA 9).

Tabela 9 – Indicadores ambientais do Setor Norte 1

SETOR NORTE 1			
INDICADOR POSITIVO	ÁREA Km²	INDICADOR NEGATIVO	ÁREA Km²
Reflorestamento	0,34	Outras Áreas Urbanas	0,07
Unid. de Cons. de Uso Sust. em Corpo d'Água Cont.	0,03	Cult. Temp. Divers.	0,14
Unid. de Cons. de Prot. Int. em Área Florestal	0,02	Uso não Ident. em Áreas Descobertas	0,01

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out 2018).

A quantidade de categorias que contribui para a vulnerabilidade do rio registrado no gráfico 12, aponta uma discrepância entre o montante territorial dos parâmetros positivos e negativos. Dentre os negativos, destaca-se a frequência do uso da APP para introdução na atividade agrícola.

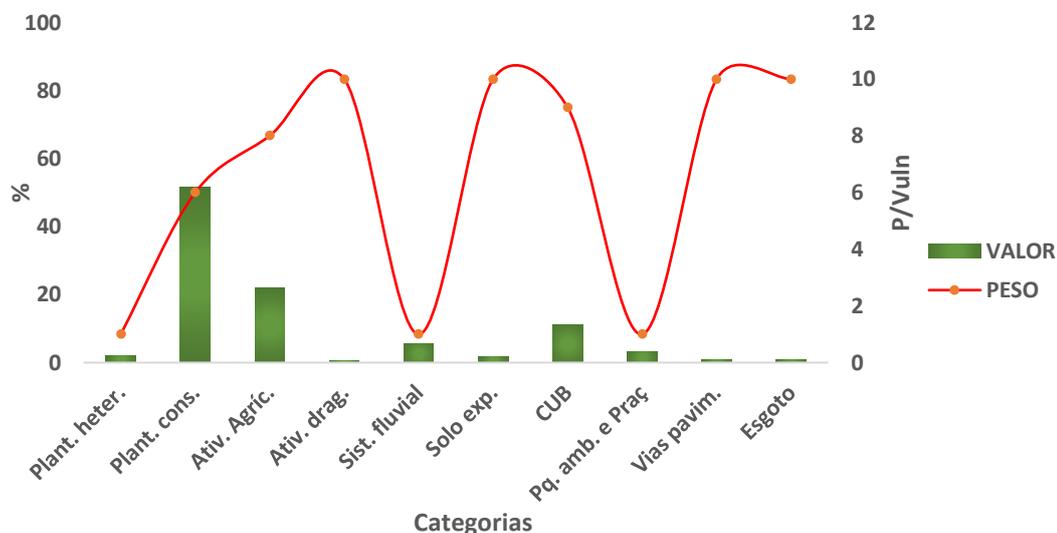
Em geral, a adaptação de uma área de planície inundável a uma área urbanizada se faz pela necessidade populacional, no entanto, tal recurso pode tornar o ambiente um portador de risco ambiental, tanto para a população que ali reside como para o canal do rio.

O Setor Norte 1 é uma planície de inundação onde a cobertura vegetal arbórea desenvolvida na área é uma vegetação introduzida, havendo baixa quantidade de plantio heterogêneo, 1,9% do setor, a presença do plantio consorciado engloba cerca de 52,7%. A particularidade desta área se define em um Parque Ambiental, denominado Encontro dos Rios, abrangendo 3,5% da área e, no sistema fluvial com 5,3%.

A atividade agrícola se caracteriza com 22,1%, sendo bastante utilizada para agricultura de subsistência. Porém, somente 11,2% da área tem concentração urbana baixa. A atividade de dragagem tem uma densidade de ocorrência de 0,6%. Cabe destacar o uso não identificado em áreas descobertas, tendo 1,6% de solo exposto.

Por fim, a via pavimentada abrange cerca de 1% da área mais 0,1% de talude e terraço pavimentado, somado a uma grande galeria de esgoto, constituem indicadores que provocam desequilíbrio ambiental.

Gráfico 12 – Demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no setor Norte 1



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Após a verificação quantitativa dos indicadores ambientais, conclui-se que é um setor que proporciona alta vulnerabilidade ao rio com um Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) 6,4. Algumas considerações podem ser tecidas com relação a qualidade das categorias que se sobressaem na tabela 10.

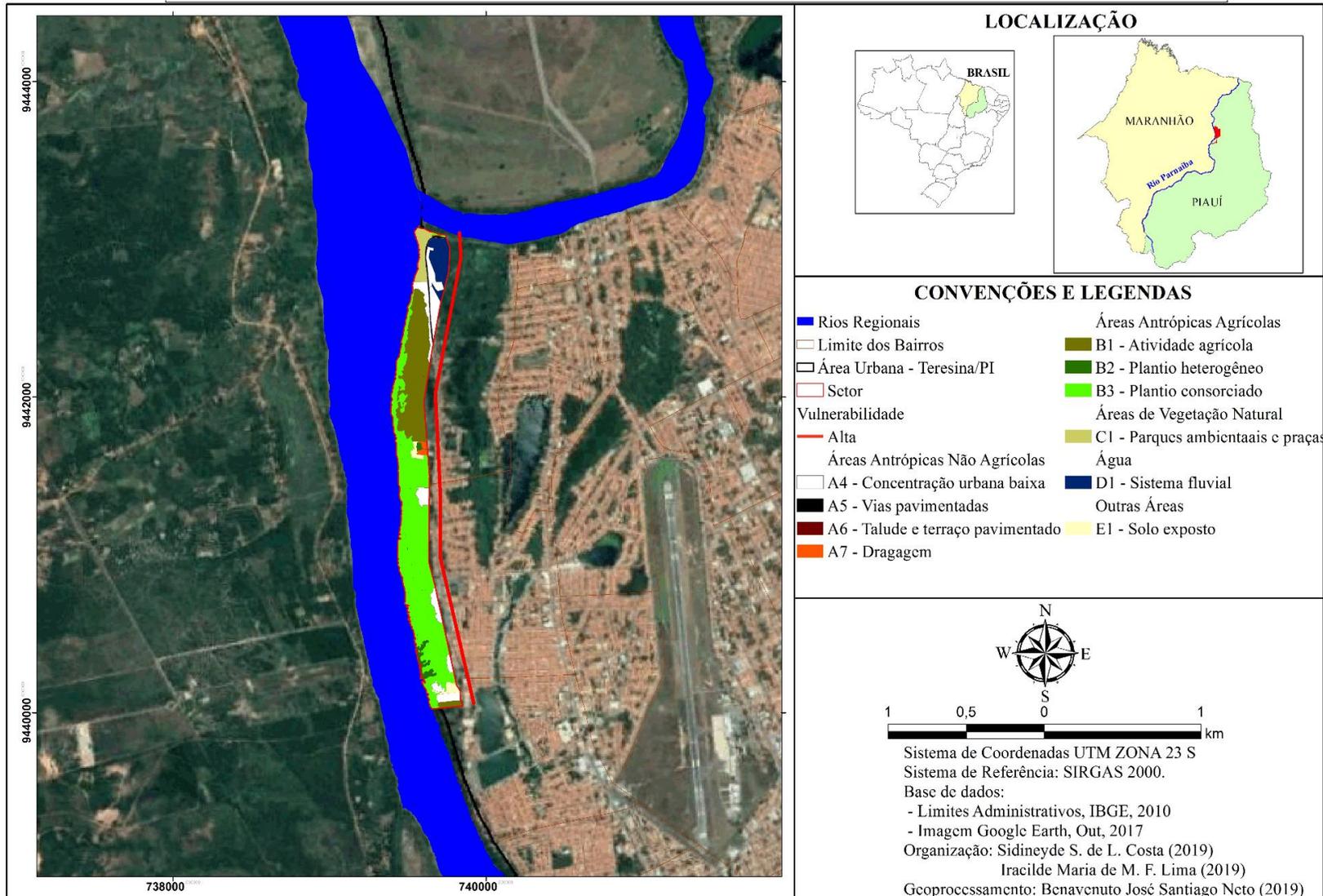
Tabela 10 – Índice final de vulnerabilidade setor Norte 1

INDICADOR	VALOR	PESO	IVA
Plantio heterogêneo	1,9	1	6,4
Plantio consorciado	52,7	6	
Atividade agrícola	22,1	8	
Atividade de dragagem	0,6	10	
Sistema fluvial	5,3	1	
Solo exposto	1,6	10	
CUB	11,2	9	
Parque Ambiental e Praças	3,5	1	
Vias pavimentadas	1,0	10	
Talude e terraço pavimentados	0,1	10	
Esgoto	1,0	10	

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

As mencionadas características dos parâmetros ambientais na APP, associada às atividades antrópicas, pode ser identificada através da figura 27, permitindo a estimar o grau de vulnerabilidade do setor.

Figura 27 – Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Setor Norte 1



Fonte. Costa; Lima (2019).

As categorias elencadas pelo quadro 16, ressalta as concentrações de indicadores negativos que apontam para uma densidade de ocorrência de 37% da área sobre 63% de indicadores considerados positivos. A possibilidade de perigo estimado ao rio, apresentando um valor de cerca de 0,37 para este setor. Caracterizando como perigo estimado de baixo potencial à possibilidade de catástrofe.

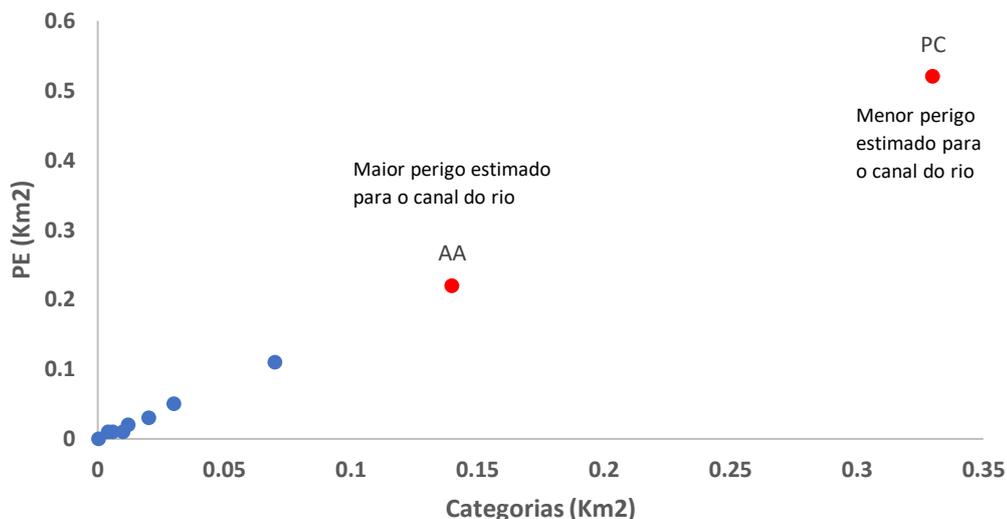
Quadro 16 – Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Norte 1 – trecho urbano de Teresina

Densidade de ocorrência dos indicadores ambientais			
Caracterização	Categorias	PE %	PE (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,02	0,37
	Plantio consorciado	0,53	
	Sistema fluvial	0,05	
	Parque Ambiental e Praças	0,03	
Indicadores negativos	Atividade de dragagem	0,01	
	Atividade agrícola	0,22	
	Solo exposto	0,02	
	CUB	0,11	
	Vias pavimentadas	0,01	
	Esgotos	0,00	

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Apresentando a segunda maior densidade de ocorrência do setor, constituindo um aspecto negativo, as atividades agrícolas refletem maior perigo ao rio, com cerca de 0,22% da área. A categoria que representa menor perigo ao canal do rio são os plantios consorciados, com 0,53% de densidade de ocorrência, sendo um indicador positivo (GRÁFICO 13). As demais categorias negativas exercem menor influência.

Gráfico 13 – Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Norte 1 – trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

O risco da obstrução de passagem da água ocasionado pelo uso da APP no referido setor corresponde a um nível baixo de apenas 2,4%, sendo promovido principalmente pela erosão das margens e assoreamento (QUADRO 17).

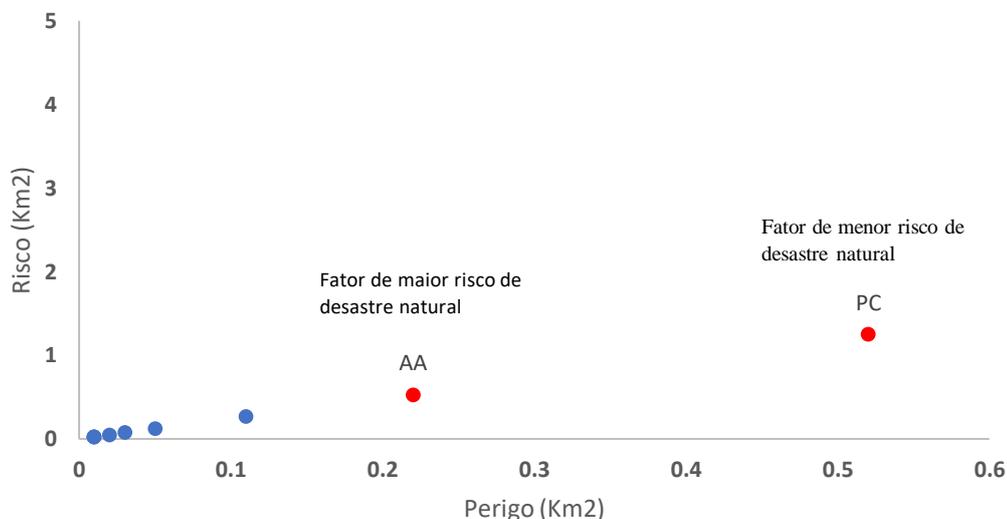
Quadro 17 – Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Norte 1 - trecho urbano de Teresina

Análise de risco ambiental			
Caracterização	Categorias	RISCO %	R (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,05	2,4
	Plantio consorciado	1,25	
	Sistema fluvial	0,12	
	Parque Ambiental e Praças	0,07	
Indicadores negativos	Atividade de dragagem	0,02	
	Atividade agrícola	0,53	
	Solo exposto	0,03	
	CUB	0,30	
	Vias pavimentadas	0,03	
	Esgotos	0,00	

Fonte: Costa 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

O gráfico 14, aponta a categoria de plantio consorciado com 1,25%, como o fator que contribui em menor potencial para desencadear riscos ambientais, já as atividades agrícolas com 0,53%, são as que contribuem em potencial a riscos para o canal do rio.

Gráfico 14 – Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do rio, setor Norte 1 - trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

4.1.1.4 Setor Norte 2

A quantificação dos indicadores ambientais neste setor, é de fundamental importância para o entendimento da classificação ao longo de seu perímetro, cuja área é de 1,17 quilômetro quadrado. O setor inicia nas coordenadas 9443077.00 m S; 739564.00 m E, finalizando nas coordenadas 9448854.00 m S; 737085.00 m E. Os bairros que a formam são: Bairro Santa Rosa, Parque Brasil e Santa Maria

Os parâmetros que compõem o setor são apenas quatro, de extensões distintas, (tabela 11), com uma unidade ambiental de silvicultura e uma área florestal, parâmetros positivos e três unidades produzidos diretamente pela ação antrópica, são parâmetros negativos.

Tabela 11 – Indicadores ambientais do Setor Norte 2

SETOR NORTE 2			
INDICADOR POSITIVO	ÁREA Km²	INDICADOR NEGATIVO	ÁREA Km²
Reflorestamento	0,66	Outras Áreas Urbanas	0,19
Unid. de Cons. de Uso Sust. em Corpo d'Água Cont.	0,12	Uso não Ident. em Áreas Descobertas	0,20

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

A presença de área de reflorestamento no terraço fluvial reduz o desgaste do solo e quedas de dique fluvial. Porém, sua retirada aumenta a capacidade de erosão e transporte de sedimentos ao canal do rio.

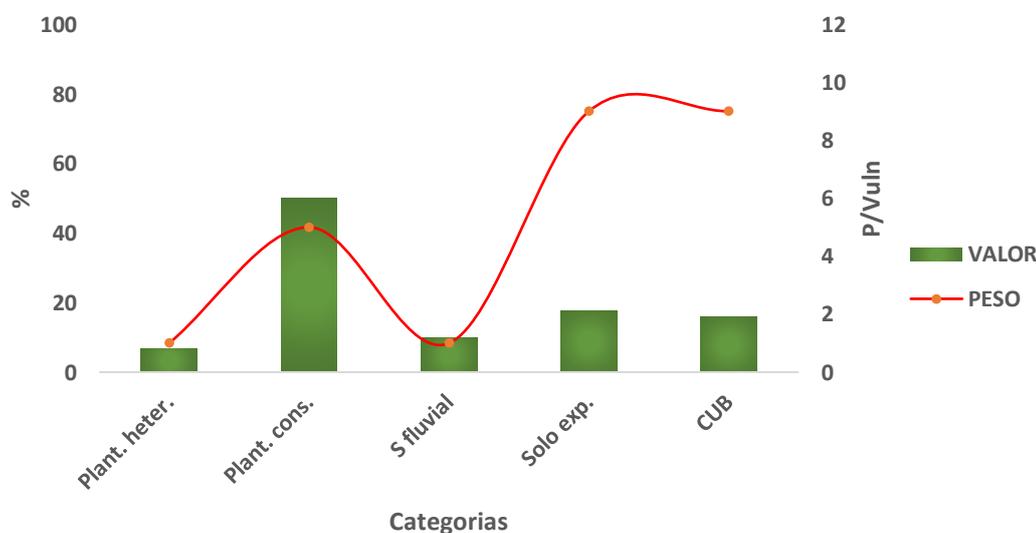
Como observado, em todos os setores há presença de áreas de planícies e terraços. A ocorrência deste parâmetro, somada a outros parâmetros negativos obtém-se uma curva de variação da vulnerabilidade. O plantio heterogêneo corresponde nível máximo de vulnerabilidade, com peso 1, ou seja, sua representatividade na área é inferior a 10%, ao mesmo tempo que é um parâmetro positivos.

Para indicadores positivos, como plantio heterogêneo, a intensidade de vulnerabilidade é uma variável inversamente proporcional à sua extensão. E o inverso estão para os indicadores negativos como a áreas urbanas industrial, (GRÁFICO 15).

O terraço se estende para além dos 200 m. A área reflorestada tem uma presença marcante com 56,7% de densidade de ocorrência, sendo 6,7% apenas com plantio heterogêneo. Faz-se necessário destacar o Rio Poti como canal fluvial que deságua no Rio Parnaíba, é um indicador potencialmente positivo ao canal, sendo que suas águas o servem durante todo o ano. O conjunto do sistema fluvial do setor constitui cerca de 10% da área.

Em contrapartida, há também grandes extensões de terras com uso não identificados, áreas descobertas, 17,5% do setor, subjugando-o a um processo erosivo intenso, onde os sedimentos são carregados para o canal do rio.

Gráfico 15 – O gráfico demonstrativo da vulnerabilidade ambiental ocasionada pelos indicadores ambientais no Setor Norte 2



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Apesar de uma evidenciada ação antrópica, a concentração populacional é baixa ocupando apenas 15,8% da área, porém, com ações significativas que desequilibra o sistema. Deve-se observar também, que apesar de o cemitério não está inserido na APP, localizado a menos de um quilômetro do rio, o mesmo poderá estar influenciando seu equilíbrio, já que se encontra em uma vertente cujo escoamento é direcionado ao canal fluvial.

O conjunto dos parâmetros em enfatizado neste setor favorece-o, destacando-se entre os dois menores impactados no trecho urbano de Teresina (TABELA 12). Em comparação aos demais setores, este apresenta o segundo maior indicador natural.

Tabela 12 – Índice final de vulnerabilidade setor Norte 2

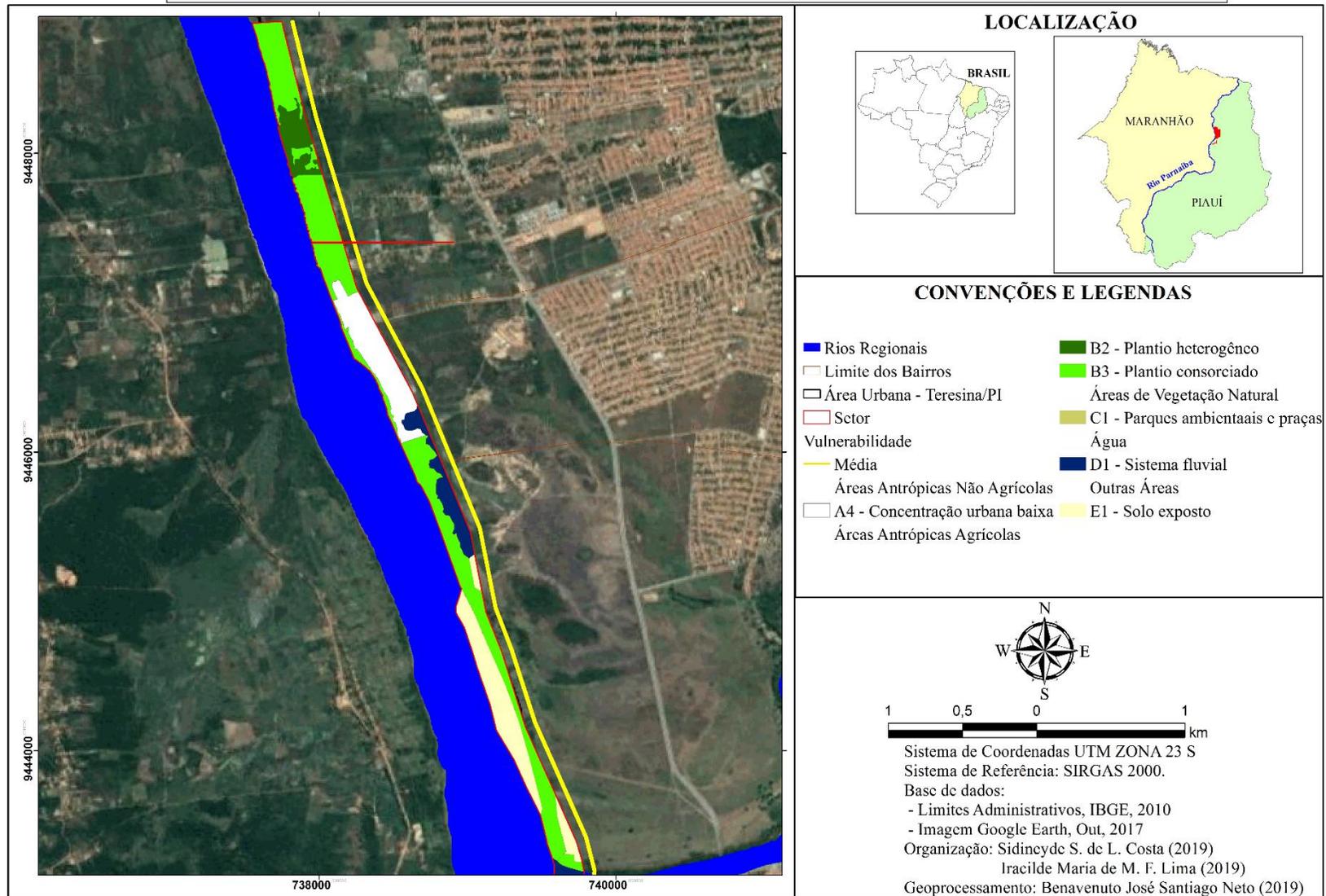
INDICADOR	VALOR	PESO	IVA
Plantio heterogêneo	6,7	1	5,6
Plantio consorciado	50,0	5	
Sistema fluvial	10,0	2	
Solo exposto	17,5	9	
CUB	15,8	9	

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Diante disso, deve-se admitir que apesar de ser o trecho de Teresina com menor área urbanizada, o mesmo constitui-se de indicadores que provocam vulnerabilidade, no entanto, os parâmetros positivos sobressaem aos negativos, proporcionando assim, uma média vulnerabilidade ao canal em relação a APP, (IVA) 5,6.

A figura 28 evidencia um médio uso da APP no referido setor. Embora seja utilizada para desenvolver atividade antrópicas, pode-se afirmar que ainda se caracteriza com cerca de 67% de parâmetros positivos, destacando a cobertura florestal e sistema fluvial, sobressaindo-se em 33% de parâmetros negativos, como concentração urbana baixa e solo exposto.

Figura 28 – Teresina (Piauí) – Vulnerabilidade ambiental: Seção Norte 2



Fonte: Costa; Lima (2019).

Considerando as categorias identificadas no setor (quadro 18), percebe-se a concentração de indicadores negativos que apontam para uma densidade de ocorrência de 33% da área sobre 67% de indicadores considerados positivos. A possibilidade de perigo estimado ao rio, apresenta um valor de cerca de 0,33 para este setor. Caracterizando como perigo estimado de baixo potencial à possibilidade de catástrofe.

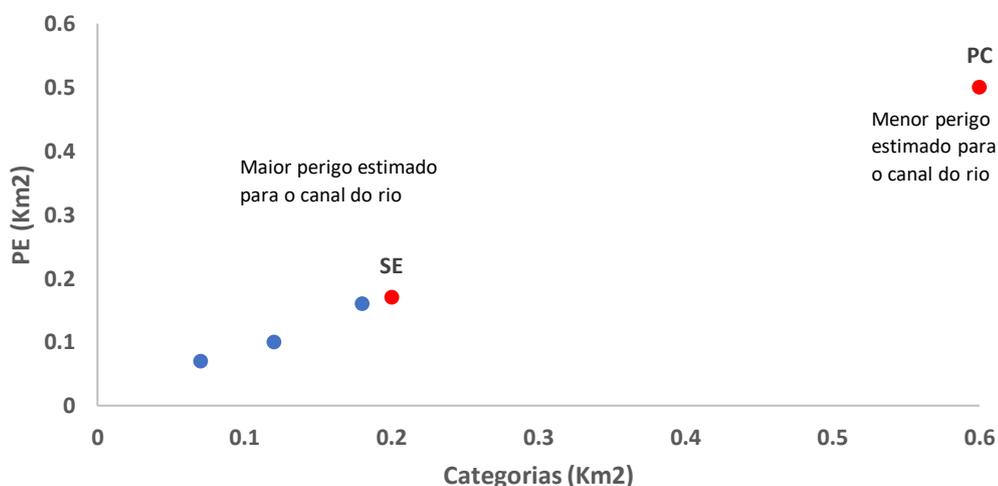
Quadro 18 – Panorama do Perigo Estimado ao canal do rio, setor Norte 2 - trecho urbano de Teresina

Densidade de ocorrência dos indicadores ambientais			
Caracterização	Categorias	PE %	PE (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,07	0,33
	Plantio consorciado	0,50	
	Sistema fluvial	0,10	
Indicadores negativos	Solo exposto	0,17	
	CUB	0,16	

Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Comprovadamente os indicadores negativos correspondem a praticamente uma mesma intensidade de perigo estimado, sendo o solo exposto ocupando 0,17% e a concentração urbana baixa, 0,16%, ressaltando que a primeira reflete maior perigo ao rio, (GRÁFICO 16). As demais categorias negativas exercem menor influência. A maior densidade de ocorrência do setor correspondente ao plantio consorciado representando 50% da área, porém corresponde ao menor perigo ao rio.

Gráfico 16 – Categorias que indicam o perigo estimado para o canal do Rio Parnaíba, setor Norte 2 – trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Em análise de risco, pelo baixo número de categorias na APP, o setor corresponde a um nível baixo de apenas 1,9%, sendo o segundo setor representante de menor risco ao rio (QUADRO 19).

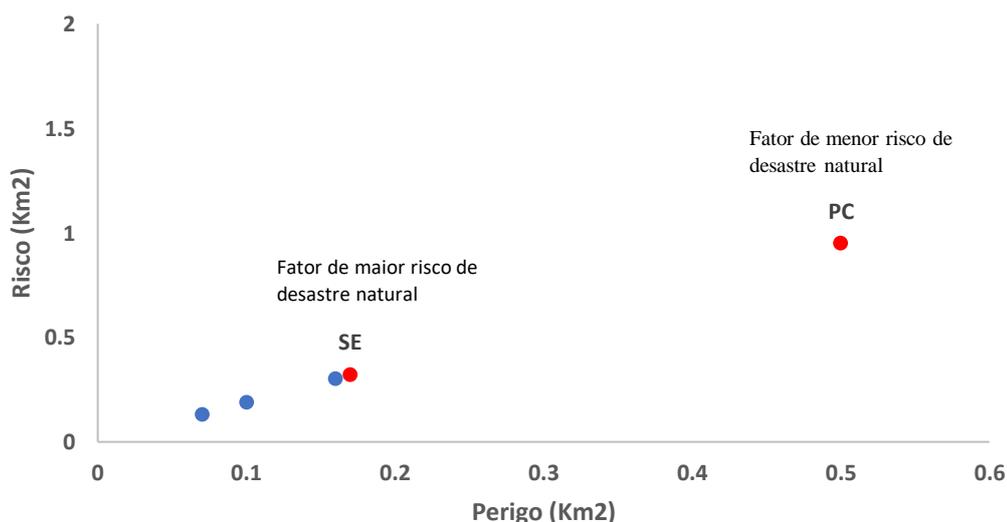
Quadro 19 – Análise de Risco Ambiental no canal do rio, setor Norte 2 - trecho urbano de Teresina

Análise de Risco			
Caracterização	Categorias	RISCO %	R (T) %
Indicadores positivos	Plantio heterogêneo	0,13	1,9
	Plantio consorciado	0,95	
	Sistema fluvial	0,20	
Indicadores negativos	Solo exposto	0,32	
	CUB	0,30	

Fonte: Costa 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Às mencionadas categorias que promovem situação de risco, destaca-se o plantio consorciado com 0,95 de menor potência a situação de risco, adicionalmente tem-se os solos expostos com 0,32%, contribuindo em potencial para desenvolver riscos ao canal do rio, (GRÁFICO 17).

Gráfico 17 – Categorias de análise de risco a desastre natural para o canal do rio, setor Norte 2 - trecho urbano de Teresina



Fonte: Costa, 2018 (Pesquisa direta). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2018).

Para fins de credibilidade, a correlação corrobora com os resultados já explanados sobre as variáveis Perigo Estimado, Análise de Risco e Vulnerabilidade Ambiental, evidenciando que há uma forte correlação positiva entre as mesmas, ou seja, uma influência a outra.

Na tabela 13, observa-se uma forte correlação ($R^2 = 0.99$) entre Risco e Perigo, entre Vulnerabilidade e Perigo ($R^2 = 0.85$), e Vulnerabilidade e Risco ($R^2 = 0.88$).

Tabela 13 – Correlação de Pearson – Perigo, Risco e Vulnerabilidade

	<i>PERIGO</i>	<i>RISCO</i>	<i>VULN.</i>
PERIGO	1		
RISCO	0,997472	1	
VULN.	0,855612	0,889076	1

Fonte: Costa 2018 (Pesquisa direta).

Conforme análise de correlação entre variáveis, o perigo estimado presta-se a influenciar em maior grau a variável risco. Como seria de se esperar, os indicadores negativos destacam-se como maiores responsáveis pelos riscos de desastres ocasionados ao rio. Um setor ou qualquer outra unidade de análise pode caracterizar com alta vulnerabilidade, mas se apresentar um valor baixo de perigo o risco será baixo (GOERL *et al.*, 2012).

4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARNAÍBA

Este capítulo trata da distribuição e da migração de elementos físico-químicos e microbiológicos lançados nas águas do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina-PI. A finalidade primária desta análise é informar as quantidades dissolvidas nas águas e as condições de tolerância para o consumo, indicando os princípios que presidem seu uso. Mason (1971), afirma que devido o poder de dissolução da água, o fluxo a partir da terra nunca é H₂O pura, contém sempre material dissolvido e em suspensão.

É baseado nesta afirmativa que será descrito as principais propriedades química, física e microbiológica das águas do Rio Parnaíba, verificando a qualidade da água, segundo dados do teor de Fósforo Total, do Nitrato, do Potencial Hidrogeniônico (pH), da Turbidez, da Condutividade Elétrica, dos Sólidos Totais, da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), do Oxigênio Dissolvido (OD), da Acidez, da Temperatura, dos Coliforme Totais e Termotolerante dentre outros.

4.2.1 A classificação e a rede de monitoramento das águas fluviais

O Rio Parnaíba é um corpo de água doce utilizada para manutenção de diversas atividades humanas. A Resolução CONAMA 357/2005, classifica as águas como salgadas, salobras e doces. As águas doces são aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰. No entanto, essas águas são identificadas por classes, resultado da qualidade requerida para o seu uso principal.

Em razão da utilidade das águas do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina, estas águas caracterizam-se sob a classe II pelo propósito dado pelo artigo 4º da Seção I da referida Resolução.

As principais características da água do ponto de vista hidrológico é a relação da qualidade e da quantidade da mesma. A qualidade da água é definida por sua composição físico-química e microbiológica e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes (FEITOSA, 2008). Para caracterizar a água, são determinados diversos parâmetros, que são indicadores de qualidade e se constituem conforme alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (BRASIL, 2014).

A qualidade das águas está relacionada ao seu uso, para isso há vários indicadores dos quais são avaliados, utilizando parâmetros físico-químicos e microbiológicos de acordo com

sua utilidade. Neste contexto, será utilizado alguns parâmetros que possibilitará o reconhecimento de suas características atuais.

Os parâmetros estudados foram cedidos pela empresa Águas e Esgotos do Piauí S.A. (AGESPISA), e por análise direta através de coletas *in loco* no ano de 2018.

De acordo com o Diário Oficial do Estado do Piauí (2013), a AGESPISA foi criada através das leis estaduais n.º 2.281, de 27 de julho de 1962 e 2.387, de 12 de dezembro de 1962 para executar a política de abastecimento de água e de esgotamento sanitário do Piauí, substituindo o Instituto de Águas e Energia Elétrica (IAEE), que passou a coordenar e dirigir os recursos oriundos do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e de empréstimos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), para a conclusão da 2ª etapa do projeto do sistema de abastecimento de água de Teresina, iniciado em 1961.

Operando uma rede de monitoramento a empresa trabalha averiguando sistematicamente as características das águas do Rio Parnaíba através de coletas nos postos implantados na margem do rio. Um posto na zona Sul, início da área urbana a montante do rio e outro na zona Norte, o lado oposto da cidade, a jusante do rio, que coleta água para distribuição para parcela da população teresinense. Ainda na margem do rio há também um ponto de tratamento de efluentes, é uma estação de tratamento de esgoto, (QUADRO 20). Enfim, são três postos, dois monitoram a qualidade da água e outro é responsável pela descarga de esgoto tratado no canal do rio.

A Estação de Tratamento de Água – ETA, é uma estação receptora que trata a água e distribui para população, tem uma política de controle da qualidade da água distribuída. A ETA-Sul, tem um laboratório de controle de qualidade que funciona 24 horas todos os dias da semana, que a cada duas horas são feitas coletas para averiguar a qualidade da água captada no Rio Parnaíba assim como a água que sai da Estação de Tratamento para os reservatórios.

Quadro 20 – Estação de monitoramento do Rio Parnaíba na cidade de Teresina

ESTAÇÃO	LOCALIZAÇÃO
ETA – Sul	R. D, 555 ^a – Distrito Industrial, Teresina – PI, próximo ao cemitério das Areias
ETA – Santa Maria da Codipi	Zona norte de Teresina – bairro Santa Maria da Codipi
ETE – Pirajá	R. Des. Adalberto Correia Lima, S/N – Ininga, Teresina – PI, próximo ao iate Clube de Teresina

Fonte. AGESPISA (2018)

4.2.2 Parâmetros utilizados pela AGESPISA

Sabendo que o Rio Parnaíba é o principal fornecedor de água à população teresinense e que há estações responsáveis pelas captações, faz-se necessário uma discussão sobre os elementos físico-químico/microbiológico dissolvidos nas águas bruta do rio. Logo, água bruta de um rio, é aquela que não sofre alterações, que não há acréscimo de elemento para tratamento, que apresenta características de acordo com a interação ambiental. Por conseguinte, no quadro 9 destaca-se alguns parâmetros e seus respectivos padrões de qualidade de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/05.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, é o órgão responsável pela qualidade da água no Brasil. A Resolução n° 357, de dezessete de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (QUADRO 21).

Quadro 21 – Parâmetros e seus padrões de qualidade. Resolução CONAMA 357/05

PARÂMETRO	VALOR MÁXIMO	
	CLASSE II	CLASSE III
Turbidez	até 100 UNT	até 100 UNT
Condutividade Elétrica	1.000 µS/cm	1.000 µS/cm
Temperatura	-	-
pH	6 a 9	6 a 9
Alcalinidade Total	-	-
Dureza Total	-	-
Cloretos	250 mg/L Cl	250 mg/L Cl
DBO ₅	até 5 mg/L O ₂	até 10 mg/L O ₂
OD	não inferior a 5 mg/L O ₂	< 4 mg/L O ₂
Ferro	0,3 mg/L Fe	5,0 mg/L Fe
Nitrato	10,0 mg/L N	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N	1,0 mg/L N
Sólidos Totais	-	-
Sólidos Totais Dissolvidos	500,0 mg/L	500,0 mg/L
Coliformes Termotolerante	< 10 ³	< 4 x 10 ³
Coliformes Totais	-	-

Fonte. Resolução Conama 357/05

A avaliação físico-químico/microbiológico das águas do rio feita através dos parâmetros indicados no quadro 21, tem resultados obtidos a partir de análises de qualidade. Os estudos de caracterização envolveram tanto dados cedidos dos anos 2015 e 2016 como coletas e verificação laboratoriais particulares.

- Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos das águas do Rio Parnaíba segundo dados da AGESPISA – 2015/2016

Marques *et al.* (2007) e Moreira *et al.* (2015) consideram que nas últimas décadas a preocupação com a qualidade e a disponibilidade da água para o consumo humano vem aumentando, devido ao rápido desenvolvimento industrial, o aumento da população e a produtividade agrícola que tem provocado diversos impactos hidrológicos.

De modo geral, a relevância dos dados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico, torna-o primordial para caracterização das águas do Rio Parnaíba.

A qualidade da água está alicerçada nos valores de cada indicador constituinte. É baseado na assertiva, que destaca os parâmetros que caracteriza fisicamente a água, parâmetros químicos e parâmetros microbiológico (TABELA 14).

Tabela 14 – Valores médios dos parâmetros determinados na análise da água do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina

PARÂMETRO	UNID	ANO/MÊS												
		ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TURBIDEZ	Unt	2015	62	74	159	133	65	26	18	15	11	10	11	23
		2016	54	166	138	76	41	24	20	11	11	12	11	23
COND. ELÉTRICA	µS/cm	2015	28,6	28,1	29,7	41,7	-	23,3	19	20	19	16	14,3	24,4
		2016	31	29	37,8	29,6	28,1	-	-	-	-	-	-	-
TEMPERATURA	°C	2015	30	27	29	30	-	28	29	30	30	30	30	32
		2016	29	27	30	31	30	-	27	29	29	-	31	28
pH		2015	7,0	6,6	7,3	7,5	7,1	7,7	7,4	7,1	7,3	6,9	6,8	7
		2016	6,8	6,8	7,5	7,1	6,9	-	7,1	6,8	6,9	-	6,9	7,4
ALCALINIDADE	mg/L	2015	14	17	30	30	-	43	18	22	19	18	20	21
		2016	39	-	34	30	20	-	20	28	16	-	24	18
DUREZA	mg/L	2015	-	-	23	23	26	25	23	21	21	26	20	23
		2016	23	28	37	40	29	29	26	23	19	25	15	19
CLORETOS	mg/L	2015	10	10	10	10	11	10	10	10	10	10	11	10
		2016	10	14	13	11	9	10	10	10	10	10	10	10
DBO	mg/L	2015	-	6	6	2	-	2	6	7	3	5	2	3
		2016	7	-	1	1	3	-	4	4	4	5	5	4
OD	mg/L	2015	10	7	9	7	-	8	8	7	8	7	7	5
		2016	5	-	6	5	7	-	10	7	7	-	8	8
FERRO	mg/L	2015	0,7	0,6	2,6	1,6	1,1	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
		2016	0,6	1,6	1,4	1,2	1,2	1,3	1,1	0,8	0,3	0,5	0,5	0,5
NITRATO	mg/L	2015	1,0	2,2	1,3	1,0	-	1,9	0,8	0,4	0,0	1,0	0,4	0,4
		2016	-	-	0,9	0,9	0,7	-	0,2	0,1	0,1	-	0,3	-
NITRITO	mg/L	2015	0,056	0,085	0,256	0,017	-	0,014	0,022	0,016	0,005	0,005	0,015	0,005
		2016	-	-	0,05	0,031	0,023	-	0,007	0,007	0,007	-	0,016	0,026
AMÔNIA	mg/L	2015	0,2	1	0,2	1,1	-	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3	0,0
		2016	0,6	-	0,5	0,8	0,0	-	0,0	0,1	-	-	0,1	0,0
		2015	190	430	770	100	-	-	-	-	-	-	-	

SÓLIDOS T	mg/L	2016	-	-	-	-	-	-	20	70	-	-	980	270
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	mg/L	2015	10	10	14	20	-	12	9	10	8	6	5	9
		2016	18	-	23	18	13	-	-	-	-	-	-	-
COLI. TERMOTOLERANTE	UFC/100 ml	2015	410	300	20000	840	-	860	41	730	980	2500	27000	1300
		2016	1500	-	200	730	2300	-	1100	1200	1500	-	1100	1300
COLI. TOTAL	UFC/100 ml	2015	2400	>2400	>2400	>2400	-	>2400	>2400	>2400	>2400	87000	3300	>2400
		2016	>2400	-	>2400	98000	34000	-	44000	31000	>2400	-	>2400	98000

Fonte. AGESPISA (2015;2016)

4.2.3 Características física da água

A presença dos parâmetros turbidez, condutividade elétrica e temperatura na água, favorece uma análise física. Segundo Piveli e Kato (2005), estes indicadores são importantes para uma verificação da qualidade da água.

- Turbidez

A turbidez é um parâmetro físico que indica os níveis de sólidos em suspensão. Para Piveli e Kato (2005), ela é a diminuição da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, ocasionado pela presença de sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas, detritos orgânicos, algas e bactérias, e plâncton em geral.

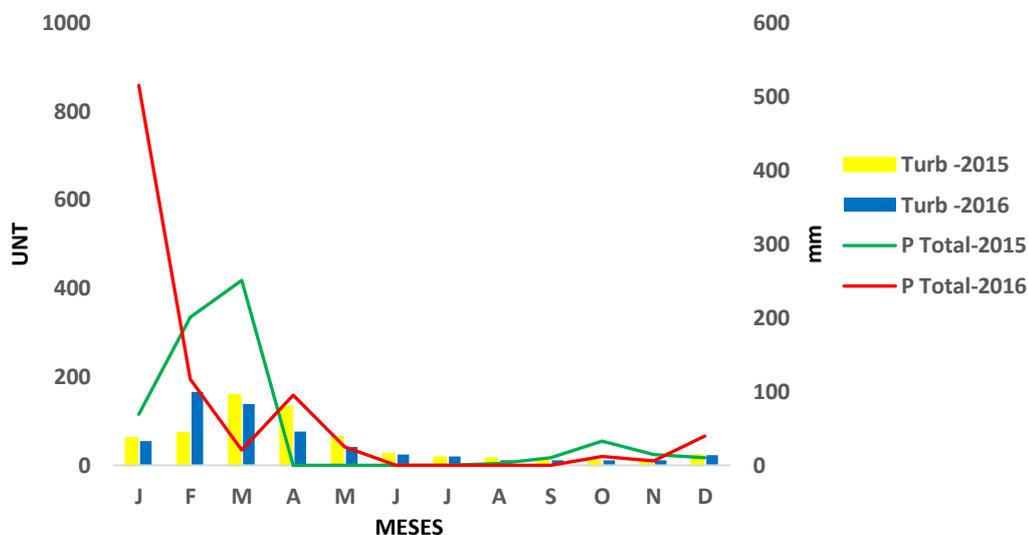
Vários são as fontes que causam turbidez em águas de rios, tais como, a retirada de material do leito (dragagem), a erosão das margens. Ademais, a presença de matéria orgânica e inorgânica decorrentes das indústrias e do esgoto doméstico lançados nos mananciais sem tratamento resultam na alteração da turbidez (VALLE JR *et al.*, 2012).

Para tanto, é importante destacar os valores verificados nas águas do Rio Parnaíba e fazer um paralelo com os valores aceitável pela Resolução CONAMA 357/05, já que a mesma tem como tolerância para o padrão de qualidade 100 UNT (unidade nefelométrica de turbidez). Assim, é possível verificar que as amostras dos meses de março (159 UNT) e abril (133 UNT) do ano de 2015, e as amostras dos meses de fevereiro (166 UNT) e março (138 UNT) de 2016, estão com valores acima do aceitável, (GRÁFICO 18). Logo, os altos valores interferem nos ecossistemas (Libânio, 2016), chegando a provocar o aumento do consumo de oxigênio nas águas.

Os valores de turbidez da água registrados nas amostras variaram entre 10 e 159 UNT, no ano de 2015, e 11 e 166 UNT no ano de 2016. O maior valor registrado no ano de 2015, concentra-se no mês de março e o menor valor, no mês outubro. Para o ano de 2016, o maior valor concentra-se no mês de fevereiro, e os menores valores concentraram-se nos meses de agosto, setembro e novembro.

Vale mencionar que a turbidez das águas do rio aumenta a partir do mês de fevereiro seguindo até maio. No entanto, o pico de turbidez registrado no ano de 2015 prevaleceu no mês de março, para o ano de 2016 o pico de turbidez foi identificado no mês de fevereiro. Além de tudo, a turbidez dificulta o acesso das pessoas ao rio, já que a visibilidade fica comprometida, precedendo os riscos à segurança humana.

Gráfico 18 – Distribuição anual de Turbidez no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

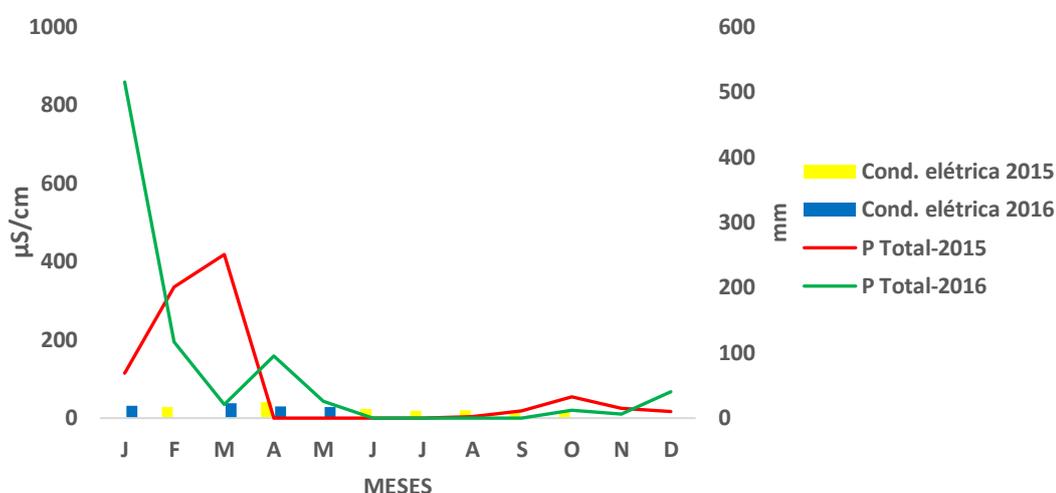
De acordo com Cabral (2013), a alta turbidez pode influenciar no equilíbrio das comunidades biológicas aquáticas, ao passo em que reduz a fotossíntese da vegetação enraizada e submersa e das algas, promovendo a redução do oxigênio dissolvido, influenciando na produtividade dos peixes.

- Condutividade elétrica

A condutividade elétrica está intimamente ligada ao teor de salinidade. Para referenciar a afirmativa, Libânio (2016, p. 52), cita que “a condutividade elétrica se vincula ao teor de salinidade, característica relevante em regiões susceptíveis a elevadas taxas de evaporação e baixa intensidade pluviométrica”. A exemplo disso, têm-se o gráfico 19, que demonstra os maiores valores nos meses em que a pluviosidade é zero, nos mesmos meses as temperaturas são bastante elevadas, contribuindo assim para uma maior evaporação das águas e conseqüentemente um aumento da salinidade e por fim um aumento na condutividade elétrica.

Os valores de condutividade elétrica registrados nas amostras variaram de 41,7 a 14,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no ano de 2015, e 37,8 a 28,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ano de 2016. O maior valor identificado no ano de 2015, concentra-se no mês de abril e o menor valor, no mês novembro. Para o ano de 2016, o maior valor é acumulado no mês de março, e o menor valor é acumulado no mês de maio.

Gráfico 19 – Distribuição anual de Condutividade elétrica no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Como mostra os dados, os períodos em que há maior condutividade elétrica estão nos meses de junho a setembro. Libânio (2016, p. 51), coloca que:

A condutividade elétrica ou condutância específica indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions – usualmente íons de ferro e manganês, além de K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} .

Este autor ressalta ainda que, “as águas naturais usualmente apresentam condutividade elétrica inferior a $100 \mu\text{S}/\text{cm}$, podendo atingir $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ em corpos d’água receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais” (2016, p. 52). Acredita-se, no entanto que, quanto mais poluída estiverem as águas, maior será a condutividade elétrica.

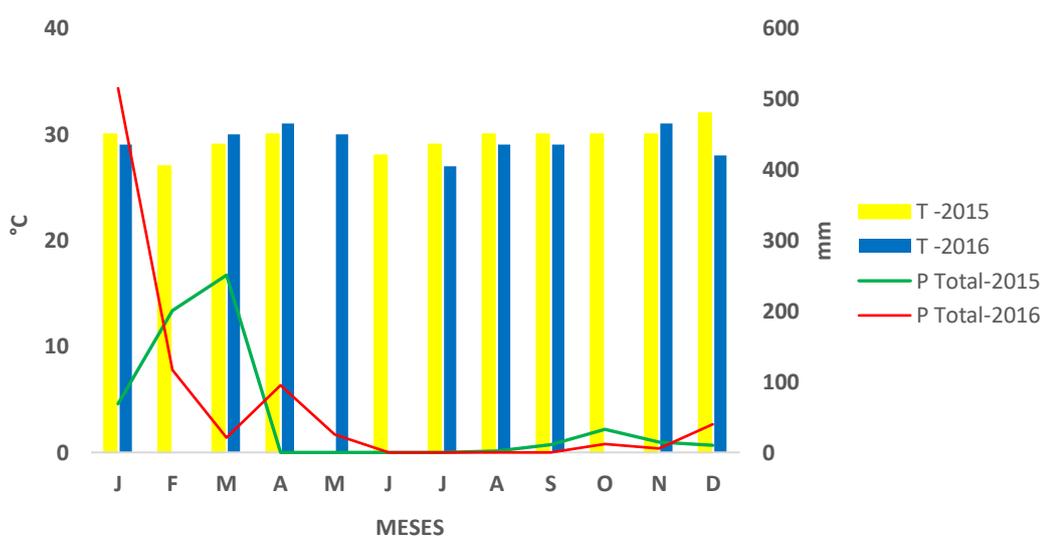
- Temperatura

Sendo a temperatura um importante parâmetro usado na definição da qualidade das águas naturais e no controle da poluição, faz-se necessário a medição contínua ou periódica para verificar as condições do corpo receptor antes do lançamento dos diversos efluentes nos canais dos rios. Libânio (2016), aponta que a temperatura das águas é diretamente proporcional a velocidade das reações químicas, dobrando para 10°C , à solubilidade das substâncias, o metabolismo dos organismos do ambiente aquático, assim como a formação de subproduto de desinfecção e ao recrudescimento microbiológico.

A temperatura é o parâmetro que faz a medição da intensidade de calor, refletindo o grau de aquecimento das águas e da radiação solar, e depende de fatores como clima, composição geológica, condutividade elétrica das rochas, dentre outras (MATIC *et al.*, 2013). Em contrapartida, verificando os dados de pluviosidade, percebe-se que a mesma não provoca variações na temperatura das águas, portanto, as mesmas permanecem estáveis. O gráfico 20, apresenta as temperaturas evidenciando a falta de correlação com a pluviosidade.

Os valores de temperaturas registrados nas amostras de água do Rio Parnaíba variaram entre 27°C e 32°C, no ano de 2015, e 27°C e 31°C no ano de 2016. O maior valor registrado no ano de 2015, concentra-se no mês de dezembro e o menor valor, no mês fevereiro. Para o ano de 2016, os maiores valores concentraram nos meses de abril e novembro, e os menores valores concentraram-se nos meses de fevereiro e julho.

Gráfico 20 – Relação anual entre Temperatura-Pluviosidade no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Em síntese, pode-se dizer que a temperatura da água influencia alguns elementos com sua condição de mais elevada ou menos elevada, concentrando ou diluindo-os nos cursos d'água. Observando ainda que a temperatura das águas é influenciada por sua localização geográfica, ou seja, estando em latitudes altas sua temperatura consideravelmente é mais baixa, e o contrário é característica de baixas latitudes.

4.2.4 Características químicas da água

As propriedades químicas da água são de grande importância nos estudos de verificação de sua qualidade para o abastecimento humano. Determinam o maior ou menor risco à saúde social.

Neste item serão abordados alguns parâmetros que devem ser considerados importantes para a caracterização da água do Rio Parnaíba, destacando: potencial Hidrogeniônico (pH), Alcalinidade, Dureza, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Oxigênio Dissolvido (OD), Ferro, Nitrato, Nitrito, e o Teor de Sólidos.

- Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH mede o teor de alcalinidade ou acidez da água, representa a atividade do íon hidrogênio na água, de forma logaritimizada e posteriormente acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes como efluentes industriais, dissociação de ácidos orgânicos, e de outras substâncias que possam apresentar reações ácidas com a água (PIVELE e KATO, 2005). Em síntese, quanto mais hidrogênio, maior é o grau de acidez.

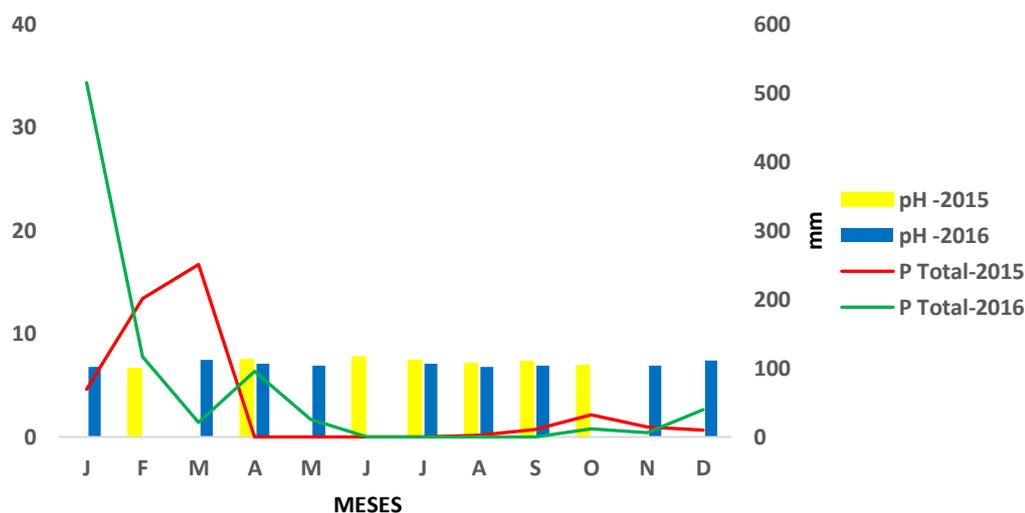
Todavia, o pH é um parâmetro utilizado como padrão de potabilidade para o consumo humano. A Resolução CONAMA 357/2005, estabelece que em águas doces de classe II, os valores estejam entre 6,0 e 9,0 para ser considerada potável. Andrade (2008), numa abordagem sobre a qualidade e o tratamento da água doce no controle de adesão microbiana na indústria de alimentos, esclarece que em pH próximo de 4,6 há ácido carbônico e, em pH próximo de 8,3 prevalece o ânion bicarbonato, assim, em água com pH abaixo de 4,6, a acidez é denominada mineral.

Ele influencia as transformações sofridas pelos organismos aquáticos e atua no equilíbrio químico de tratamento de águas. As alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados (PIVELI e KATO, 2005). O pH é uma variável abiótica importante nos ecossistemas aquáticos de difícil interpretação pela quantidade de fatores que o podem afetar (ESTEVEES, 2011).

Em relação aos valores encontrados de pH nos anos de 2015 e 2016, admite-se que os mesmos variaram entre 6,6 e 7,5 e 6,8 a 7,5 nos respectivos anos. O maior valor registrado no ano de 2015, concentra-se no mês de abril e o menor valor, no mês fevereiro. Para o ano de

2016, o maior valor concentra-se no mês de março, e os menores valores concentraram-se nos meses de janeiro, fevereiro e agosto, (GRÁFICO 21).

Gráfico 21 – Distribuição anual do Potencial Hidrogeniônico (pH) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Conforme os resultados obtidos, é possível concluir que não há lançamentos de resíduos industriais suficientes para alterar o pH das águas neste trecho do rio, sabendo que os efluentes industriais são os maiores responsáveis pela diminuição do pH.

A condição do pH nas águas naturais do rio exhibe uma certa estabilidade no decorrer dos anos. É possível verificar que as condições do pH, varia entre o neutro e alcalino, ou seja, entre os níveis 6,6 a 7,7. Seus valores estão dentro dos padrões permitidos pelo CONAMA 357/05 para águas doces classes II e III, que aceita valores entre a faixa de 6,0 a 9,0.

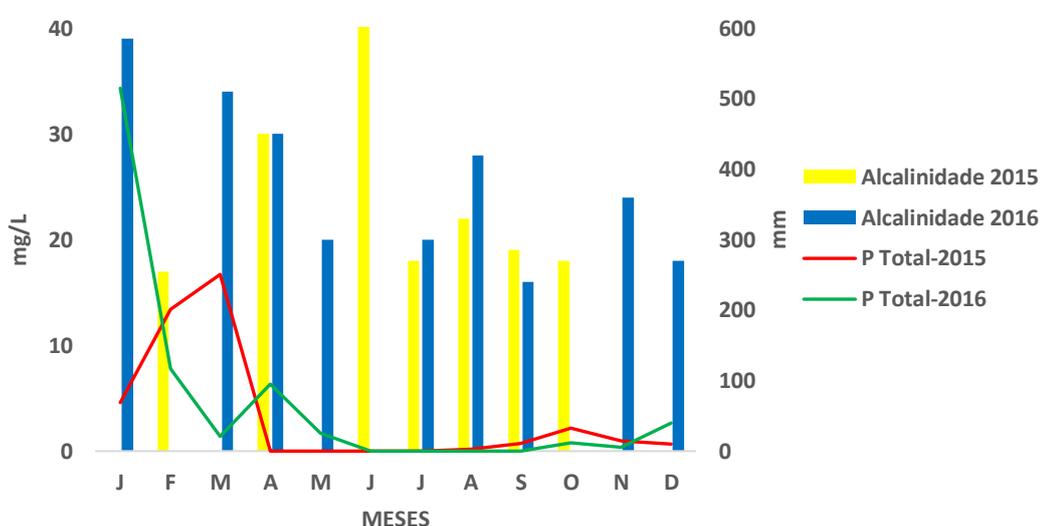
- Alcalinidade

Libânio (2016), afirma que a alcalinidade das águas naturais representa uma neutralização dos ácidos (os íons H⁺) ou minimização do pH. Baseada nas afirmativas ainda de Libânio (2016), a alcalinidade é formada pelos bicarbonatos (HCO₃⁻), carbonatos (CO₃⁻²), e hidróxidos (OH⁻). Porém nas águas com pH entre 4,4 e 8,3 a alcalinidade terá qualidade referente apenas de bicarbonatos. Sendo assim, para descrever a alcalinidade do Rio Parnaíba (gráfico 22), têm-se como característica a ocorrência apenas de bicarbonatos (cálcio e

magnésio). De acordo com a Secretaria de Vigilância em Saúde (Brasil, 2006), a maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg L⁻¹ de CaCO₃.

Os valores de alcalinidade representados pelo gráfico 18, mudam de acordo com os meses. Variou de 14 a 43 mg/L, no ano de 2015, e de 16 a 39 mg/L, no ano de 2016, ou seja, os valores são praticamente iguais. O maior valor registrado no ano de 2015, concentra-se no mês de junho e o menor valor, no mês janeiro. Para o ano de 2016, o maior valor concentra-se no mês de janeiro, e o menor valor concentra-se no mês de setembro.

Gráfico 22 – Distribuição anual de Alcalinidade no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Piratoba *et al* (2017), ressalta que a alcalinidade não tem um significado sanitário, exceto quando ocorre devido a hidróxidos, ou quando contribui na qualidade de sólidos totais.

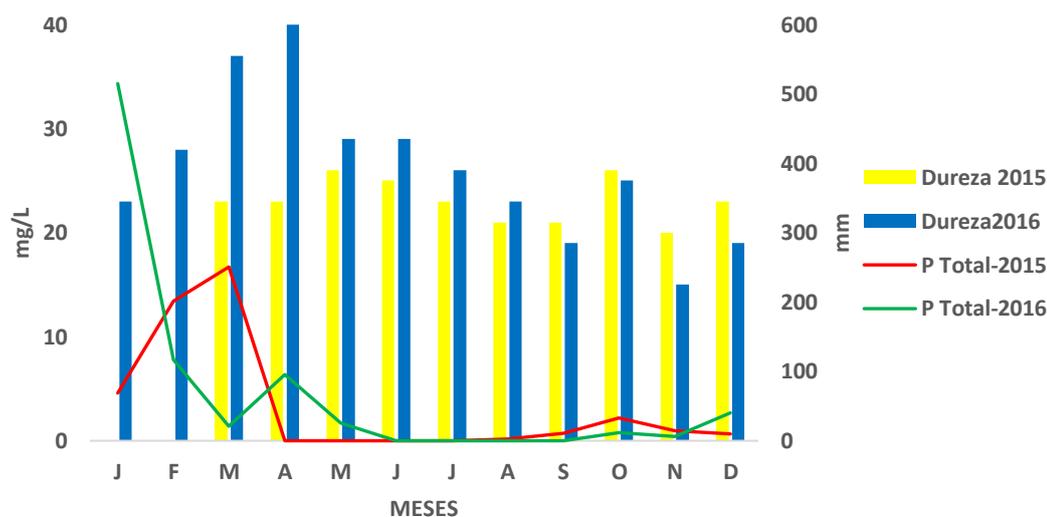
- Dureza

Uma parte considerável das características químicas da água é formada pela concentração de cátions multivalentes diluídos na água designando a função de dureza. A assertiva é declarada por Libânio (2016, p. 56):

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água, sobretudo de cálcio (Ca⁺²) e magnésio (Mg⁺²), expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio (CaCO₃) e se manifesta pela resistência à reação de saponificação.

De forma simplificada, Piveli e Kato (2005), explica que dureza de uma água é dada pela sua capacidade de precipitar tornar os sabões em complexos insolúveis, não formando espuma. Para tornar mais explícito as informações, verifica-se os dados de dureza de água dos anos 2015 e 2016, através do gráfico 23.

Gráfico 23 – Distribuição anual de Dureza no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa. 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Os resultados registrados da dureza total nos anos de 2015 e 2016, foram 20 a 26 para 2015, e 15 a 40, para 2016, sendo os valores mais baixos no mês de novembro e o mais alto, nos meses de maio e outubro do ano de 2015 e no ano de 2016, os meses com valores mais alto e mais baixo foram abril e novembro, respectivamente.

Segundo Von Sperling, (2007), as principais fontes de dureza são a dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio, a exemplo, as rochas calcárias e os despejos industriais.

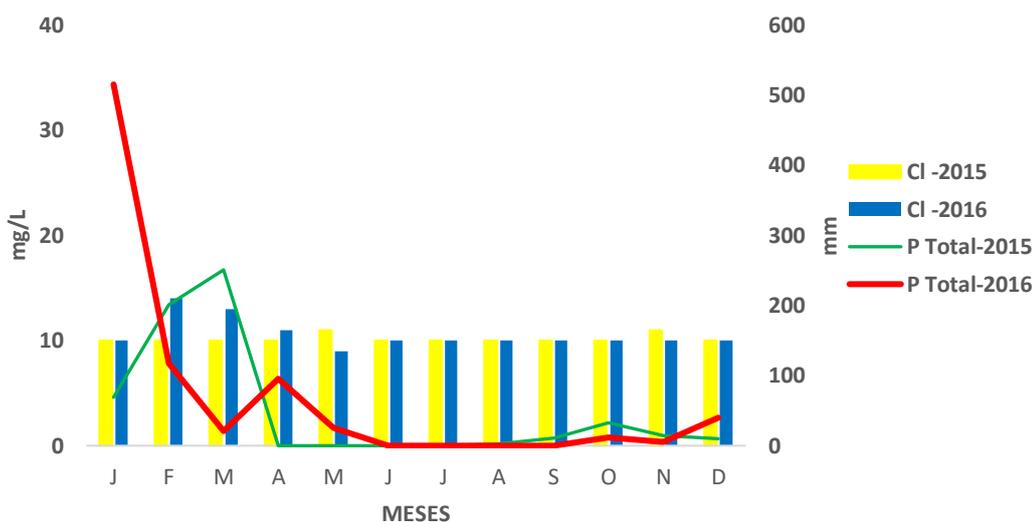
- Cloretos

Para Marcelino (2008), o cloreto na forma de sais, como sódio, potássio e cálcio, é um dos elementos mais abundantes na natureza. Eles originam-se principalmente da dissolução de minerais ou da intrusão de águas do mar, ou dos esgotos domésticos ou industriais, (VITÓ *et al.* 2016).

Segundo Esteves (2011), a média mundial das concentrações de cloreto é de 7,8 mg L⁻¹. No entanto, os valores encontrados após análise feita pela AGESPISA nos anos de 2015 e

2016 variam de 9 a 14 mg/L. predominando 10 mg/L nas análises de 2015, e em 2016, o maior valor encontrado foi no mês de fevereiro, e o menor valor 9 mg/L, foi no mês de maior (GRÁFICO 24).

Gráfico 24 – Concentração anual de Cloretos no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

De acordo com United States Environmental Protection Agency - USEPA (2015), cloreto é um íon importante nas águas subterrâneas e superficiais. Porém seu alto teor pode provocar corrosão nos sistemas de distribuição, e sabor na água (VITÓ et al. 2016).

- Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO₅²⁰

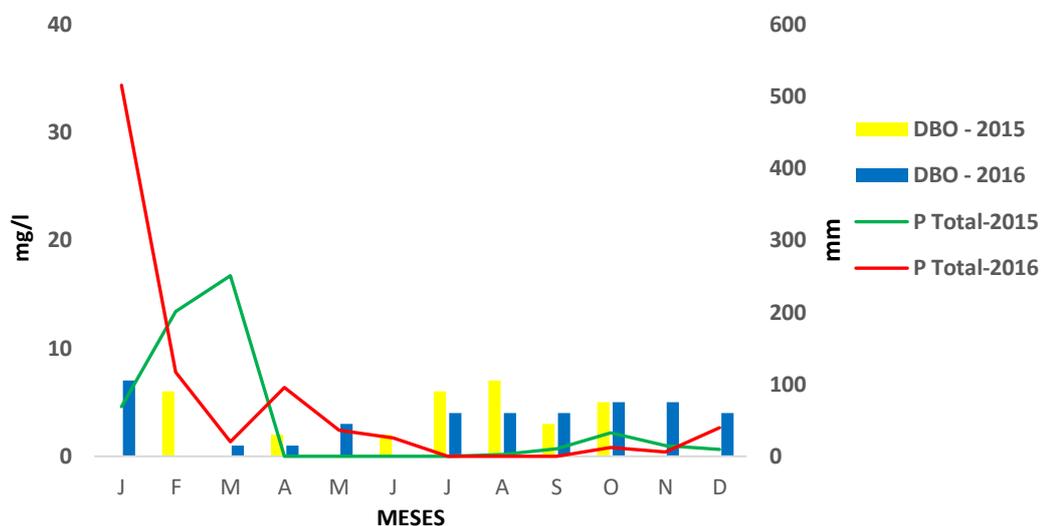
Macêdo (2006) e Manahan (2013), conceituam DBO como a quantidade de oxigênio que é consumido pela oxidação da matéria orgânica biodegradável intermediada por micro-organismos aeróbicos.

A DBO é um parâmetro indispensável para o controle da poluição das águas originadas por matéria orgânica (PIVELE e KATO, 2005). A mesma, verifica a quantidade de oxigênio nas águas. Para as águas doces a Resolução CONAMA 357, estabelece que em classe 2, a DBO em 5 dias a uma temperatura de 20°C representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água que será igual ou menor que 5 mg/l O₂.

O gráfico 25, mostra que os valores encontrados de DBO foi maior no mês agosto com 7 mg/L, e menor nos meses de abril, junho e novembro com 2 mg/L, no ano de 2015. No ano

de 2016, o maior valor foi 7 mg/L no mês de janeiro e o menor valor foi 1 mg/L, nos meses de março e abril.

Gráfico 25 – Distribuição anual da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa. 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Com base na Resolução citada e nas análises feitas pela ETA, e considerando o parâmetro DBO, verifica-se que este parâmetro pouco variou entre os anos de 2015 e 2016 a montante da ETA, e que o mesmo não sofre as influências das chuvas.

Se considerar que as chuvas não interferem na concentração de DBO, faz-se necessário uma atenção para sua concentração na calha do rio. No entanto, o valor encontrado não representa risco ao ambiente, já que os teores de DBO analisada estão dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357.

Neste cenário, ainda que tenha indicado valores aceitáveis pela referida resolução, é razoável dizer que os diferentes estados de efluentes lançados na calha do rio poderá ser responsável pelo acúmulo de matéria orgânica proveniente de esgotos domésticos que contribui com os valores de DBO.

- Oxigênio Dissolvido (OD)

Para Von Sperling (2005), o oxigênio dissolvido é essencial para os organismos aeróbios, sendo o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por

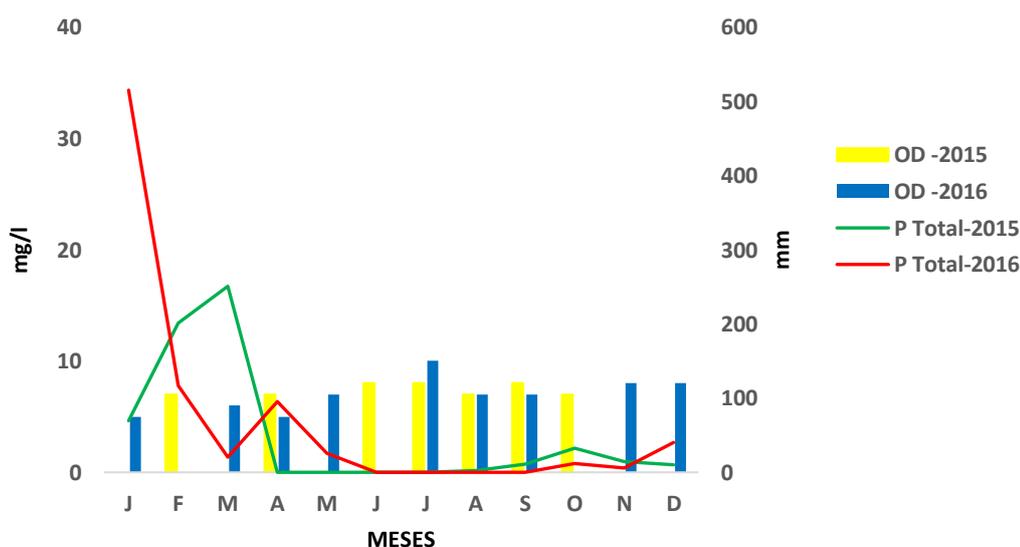
despejos orgânicos e, durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias usam o oxigênio em seus processos respiratórios, podendo provocar uma redução de sua concentração no meio.

Cabe menção ao fato de que o oxigênio dissolvido é indispensável aos animais e microrganismos e sua baixa quantidade coloca em risco toda a vida aquática. Indubitavelmente, os microrganismos aeróbios aquáticos necessitam de uma certa quantidade de oxigênio dissolvido para seu metabolismo. Por consequência, uma das fontes de oxigênio em águas naturais provem da atmosfera, devido a diferença de pressão (PIVELI e KATO, 2005).

Porém, o desequilíbrio no meio aquático pode ser provocado por uma elevada quantidade de matéria orgânica, a mesma desencadeia a proliferação de bactérias, responsável pelo consumo de grandes quantidades de oxigênio dissolvido, o que provoca a morte dos seres. Se o teor de OD for muito baixo, haverá a proliferação das bactérias anaeróbias, que liberam gases tóxicos, mau cheirosos e reveladores de alto nível de poluição (SILVA, 2003).

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, o oxigênio dissolvido, em qualquer amostra não poderá ser inferior a 5 mg/l O₂. De acordo com o resultado das análises feitas nos anos de 2015 e 2016 pelo laboratório da referida empresa, os valores encontrados evidenciam uma variação entre 5 e 10 mg/l (gráfico 26), justificando assim, uma boa quantidade de oxigênio dissolvido, característica favorável a vida.

Gráfico 26 – Distribuição anual do Oxigênio Dissolvido (OD) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

O maior valor encontrado no ano de 2015 e 2016 foi 10 mg/L, nos meses de janeiro e julho, respectivamente. O menor valor registra 5 mg/l em dezembro de 2015 e, janeiro e abril de 2016.

- Ferro

Andrade (2010), afirma que o ferro é comumente encontrado em águas naturais em concentrações que variam de acordo com as características geológicas de cada local.

Considerando, portanto, a natureza do elemento, Libânio (2016), enfatiza que o ferro é um dos elementos mais abundantes, sendo comum ser encontrado nas águas naturais, superficiais e subterrâneas, estando nas formas insolúvel (Fe^{+3}) e dissolvida (Fe^{+2}), como óxidos, silicatos, carbonatos, cloretos, sulfatos e sulfitos.

Quanto sua origem, Oliveira *et al.* (2012), destaca que as fontes naturais no ambiente aquático são, principalmente, o intemperismo das rochas que compõem a bacia de drenagem e a erosão de solos ricos nesses materiais.

A exemplo, o gráfico 27, evidencia uma concentração de ferro nos pontos de coletas feitas no Rio Parnaíba. Refletem uma quantidade significativa do mesmo.

Embora os dados demonstrem uma alta concentração total de ferro, a Resolução CONAMA N° 357, aceita como tolerável para águas de classe II, um valor máximo de 0,3 mg/L de ferro dissolvido.

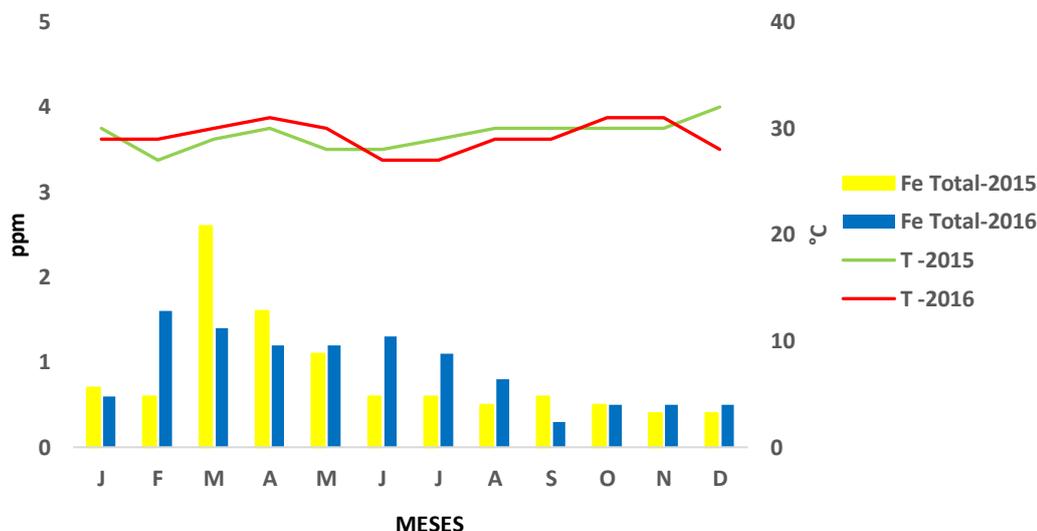
Dessa forma, pode ser considerado que a quantidade de ferro encontrada nas águas do rio as torna complexadas à matéria orgânica, onde a mesma pode envolver o metal e reduzir a oxidação e precipitação na forma de hidróxido, (LIBÂNIO, 2016).

O ferro total dissolvido foi encontrado em grandes concentrações em todas as amostras tanto para o ano de 2015, como para o ano de 2016, variando entre 2,6 mg/L no mês de março a 0,4 mg/L nos meses de novembro e dezembro do ano de 2015. No ano de 2016, o menor valor encontrado foi de 0,3 mg/L no mês de setembro, ou seja, o único valor aceitável pela referida resolução, o maior valor foi de 1,6 mg/L, no mês de fevereiro.

Quanto a concentração de ferro, Bahia *et al.* (2011) e, Moruzzi e Reali (2012), ressalta que na água, as altas concentrações podem formar complexos de ferro total.

No entanto, Libânio (p. 74, 2016), destacar que “o ferro não apresenta inconveniente sanitário”. Cordeiro Neto *et al.* (2017), considera que a complexação de ferro é apenas a formação de compostos coordenados entre a matéria orgânica e os metais presentes, aumentando, assim, a concentração do metal no corpo d’água.

Gráfico 27 – Relação anual entre Temperatura-Ferro no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2015-2016)

Sob o ponto de vista da Resolução CONAMA N° 357/05, o ferro não é tóxico, porém, havendo concentração em excesso, provoca cor e sabor nas águas. Por esta razão a mesma resolução estabelece seu valor máximo tolerável.

Payne *et al.* (2001), numa abordagem sobre a mutação de peixes, evidencia que o excesso de ferro nas águas coloca em risco o equilíbrio ecológico dos sistemas aquático, causando danos por oxidação do DNA, e reduzindo os níveis de vitamina A em peixes.

- Amônia (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) e Nitrato (NO_3^-)

De acordo com Kindlein (2010), as diferentes formas de nitrogênio, como o nitrato, juntamente com o íon amônio, assumem grande importância nos sistemas aquáticos, o nitrito, um outro composto de nitrogênio, representa uma fase intermediária entre a amônia (forma mais reduzida) e o nitrato (forma mais oxidada)

Sendo o nitrogênio é essencial para a natureza, é interessante ressaltar que para Piveli e Kato (2005), sua principal fonte é provavelmente dos esgotos que lançam nas águas nitrogênio orgânicos e nitrogênio amoniacal, que também são encontrados na forma de nitrito e nitrato.

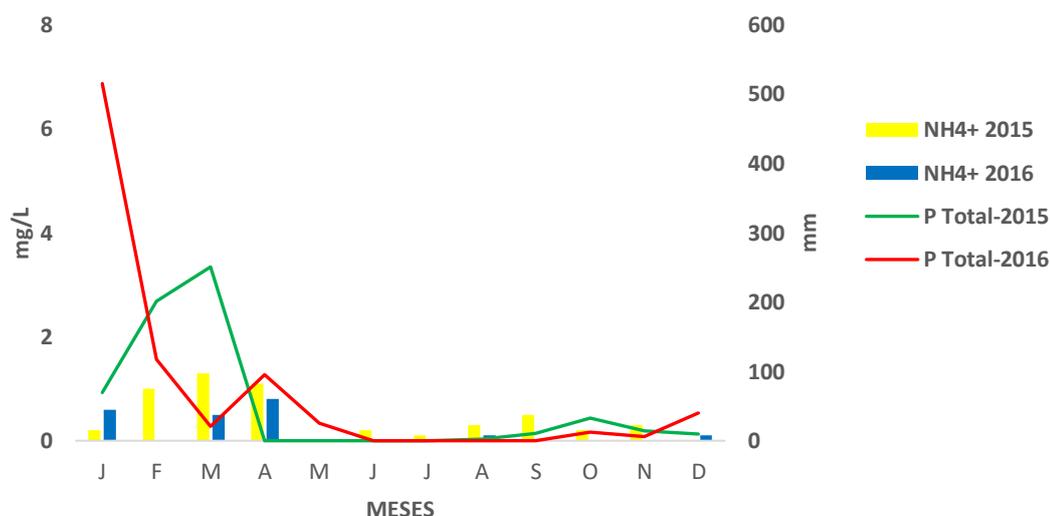
A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L, ela produz consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. (PIVELI e KATO, 2006).

Para Kindlein (2010), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrânea, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato.

A Resolução CONAMA 357/05, estabelece como padrão de qualidade de corpos hídricos classe 2, concentração máxima de 3,7 mg/L N de nitrogênio amoniacal em faixa de pH menor ou igual a 7,5 e 2,0 mg/L N para pH maior que 7,5 e menor ou igual 8,0, condições presentes nos pontos avaliados.

A concentração máxima de amônia para o ano de 2015, ocorreu no mês de março com 1,3 mg/L N, e a mínima ocorreu em dezembro, onde não houve a presença. Em 2016, a concentração máxima foi em abril com 0,8 mg/L N, e a mínima foi nos meses de maio e novembro sem registro de sua presença (GRÁFICO 28). Conclui-se que as médias das concentrações obtidas nos pontos de coleta estão conforme a Resolução citada.

Gráfico 28 – Distribuição anual de Amônia (NH_4^+) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016

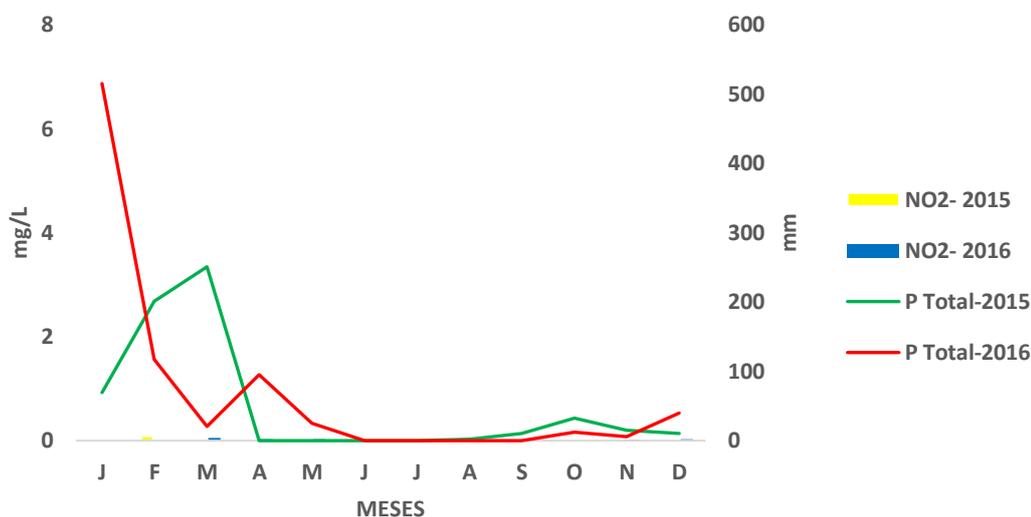


Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

O nitrito é normalmente encontrado em pequenas quantidades nas águas superficiais e subterrâneas KINDLEIN (2010). Porém, seu efeito em organismos aquáticos está relacionado à capacidade de oxidar o átomo de ferro da molécula da hemoglobina, que passa do estado ferroso (Fe^{+2}) para o estado férrico (Fe^{+3}), formando meta-hemoglobina, incapaz de transportar oxigênio aos tecidos, resultando em um quadro de hipoxia e cianose (BARBIERE, et al., 2014). O mesmo autor destaca que o nitrito confere ao sangue uma inconfundível cor marrom, indicando a oxidação do pigmento respiratório.

Em termos de quantidade, o gráfico 29, demonstra a concentração máxima no valor de 0,256 e 0,05 mg/L nos anos de 2015 e 2016, respectivamente.

Gráfico 29 – Distribuição anual de Nitrito (NO_2^-) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Observa-se que todas as amostras (gráfico 30), apresentam resultados dentro dos parâmetros citados pela Resolução CONAMA 357/05, cujo valor máximo estabelecido é 1 mg/L.

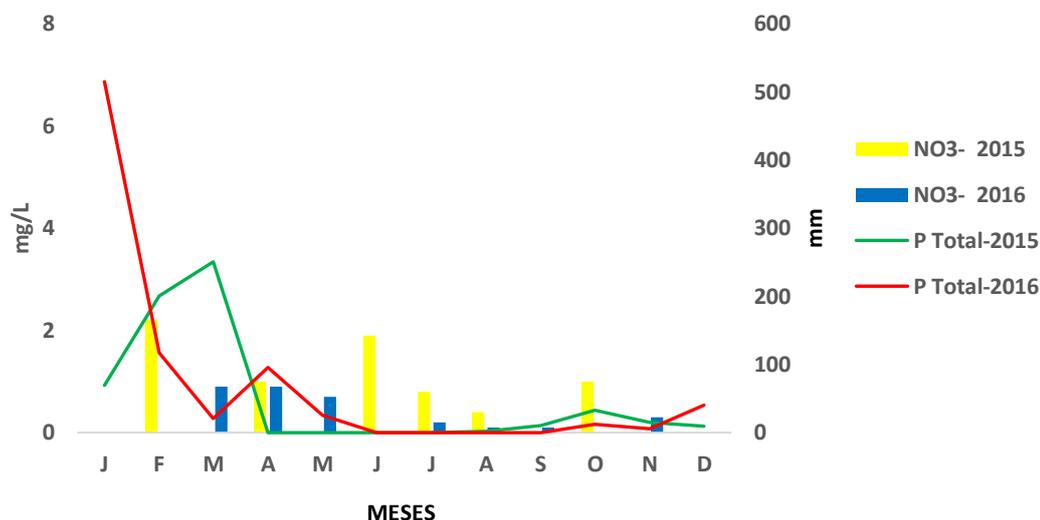
Para Baird (2002), a fonte de nitrato em água potável, é proveniente de cultivo intensivo da terra, mesmo sem fertilizantes ou esterco.

Os efeitos do nitrato ingerido pelo ser humano, a partir do consumo de água contaminada, é descrita por Mahler *et al.* (2007), no qual coloca que a intoxicação ocorre principalmente em crianças menores de seis meses de idade, onde a presença de algumas bactérias redutoras pode resultar na chamada “síndrome do bebê azul”. Kindlein (2010), reafirma que o consumo do nitrato por meio de água de abastecimento está associado a dois problemas antagônicos à saúde, a indução a metaemoglobinemia, sobretudo em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas.

O padrão de potabilidade da Resolução CONAMA 357/05, estabelece valor máximo de concentração de nitrato é de até 10 mg/L. Em relação aos valores encontrados deste elemento observa-se no gráfico 30 valores referentes aos anos de 2015 e 2016. O valor máximo encontrado em 2015 foi de 2,2 mg/L referente ao mês de fevereiro e o valor mínimo foi de 0,0

mg/L no mês de setembro. No ano de 2016 foi encontrado maior valor de 0,9 mg/L, nos meses de março e abril e, menor valor de 0,1 mg/L nos meses de agosto e setembro.

Gráfico 30 – Distribuição anual de Nitrato (NO_3^-) no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

- Sólidos

Tendo em vista que os sólidos tendem a ser nocivos à vida dos seres aquáticos, Figur e Reis (2017), diz que os sólidos podem sedimentar no leito dos rios e acabar com os organismos que fornecem alimentos, arruinando também, os leitos de desova de peixes. Logo, o aumento de sedimentos nas águas do rio, diminui proporcionalmente a fonte de alimentos à população que se abastece dos mesmos.

Partindo do princípio de que sólido é toda matéria caracterizada pela rigidez, Piveli e Kato (2005), diz que os sólidos nas águas equivalem a toda matéria que se mantém como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra, e que após esses três processos, os sólidos existentes nas águas são fracionados em sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos dissolvidos e sólidos sedimentáveis.

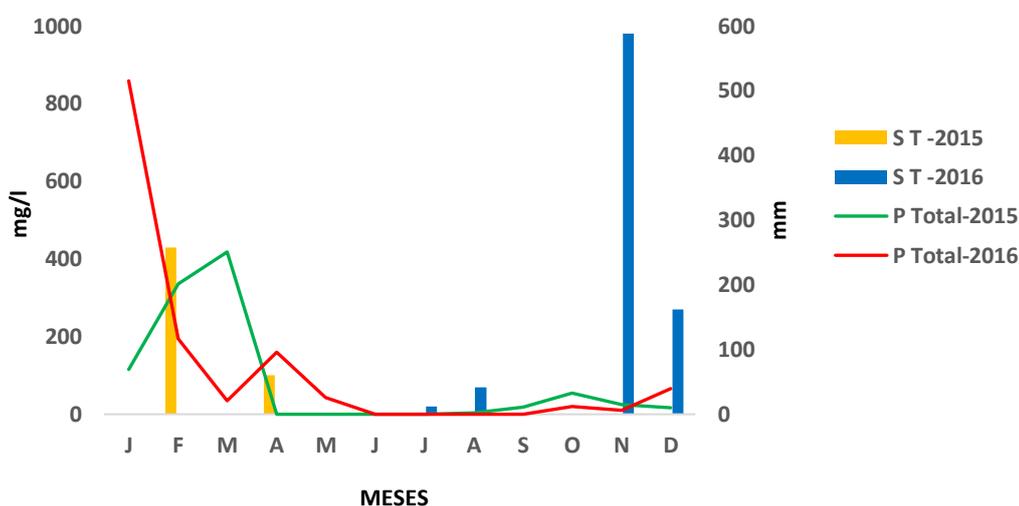
Considerando essa classificação e utilizando para a necessidade de análise, o referido estudo focará na categoria de sólidos totais e sólidos totais dissolvidos.

➤ *Sólidos Totais (ST)*

De acordo com Piveli e Kato (2005), os sólidos totais são resíduos que fica na cápsula após a evaporação em banho-maria e secagem de uma amostra em estufa de 103-105°C até peso constante. Portanto, deve-se evidenciar o valor encontrado nas pesquisas, que apesar da empresa não fazer periodicamente esta análise tem determinados os teores em alguns meses do ano de 2015 e 2016 (GRÁFICO 31). Essa falta de dados, deve-se à não necessidade de verificação de sólidos pela empresa em águas limpas, a mesma é mais utilizada e necessária em águas altamente poluídas e em esgotos devido à presença em grandes quantidades de sedimentos.

Assim, verifica-se que os meses de março e novembro dos anos de 2015 e 2016 respectivamente, apresentam alta concentração de Sólidos Totais, que não foram influenciados pela pluviometria. O menor valor encontrado em 2015 foi 100 mg/L, no mês de abril e o maior foi 770 mg/L, no mês de março. No ano de 2016 o menor valor foi 20 mg/L, em julho, e o maior foi 980 mg/L, no mês de novembro.

Gráfico 31 – Distribuição anual dos Sólidos Totais no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

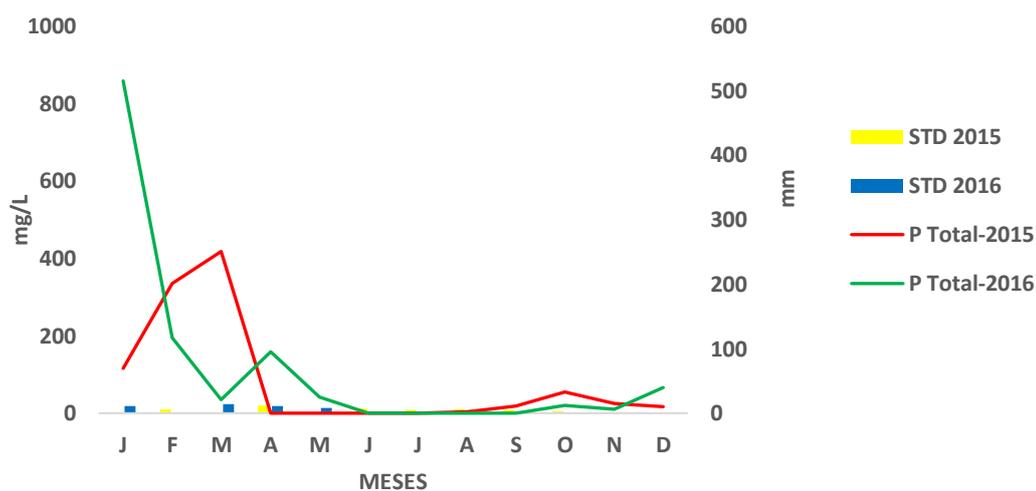
Os sólidos agem de maneira indireta sobre a vida aquática, impedem a penetração da luz, induzem o aquecimento da água o que, conseqüentemente, diminui a quantidade de oxigênio dissolvido no meio (LOUGON, 2009). o que justifica uma alta mortandade da fauna aquática neste período.

➤ *Sólidos Totais Dissolvidos (STD)*

Segundo Piveli e Kato (2005), Sólidos Totais Dissolvidos são formados pela quantidade dos sólidos Totais Voláteis (STV) mais Sólidos Totais Fixos (STF). Crispim (2007), por conseguinte, explana que os STD são resultados de todos os componentes minerais presentes na água, tais como cloretos, sulfatos e metais dissolvidos.

Todos os valores da concentração de Sólidos Totais Dissolvidos no Rio Parnaíba (gráfico 32), não ultrapassam 20 mg/L no mês de abril de 2015 e 23 mg/L março de 2016. O mês de mínima concentração de STD foi em novembro de 2015, com o teor de 5 mg/L. De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, sua concentração máxima é de 500 mg/L.

Gráfico 32 – Distribuição anual dos Sólidos Totais Dissolvidos no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

4.2.5 Características microbiológicas

“As características biológicas das águas naturais referem-se aos diversos microrganismos que habitam o ambiente aquático. Sua relevância evidencia-se na possibilidade de transmitir doenças”, (LIBÂNIO, 2016, p. 91).

- Coliformes Totais e Coliformes Termotolerante

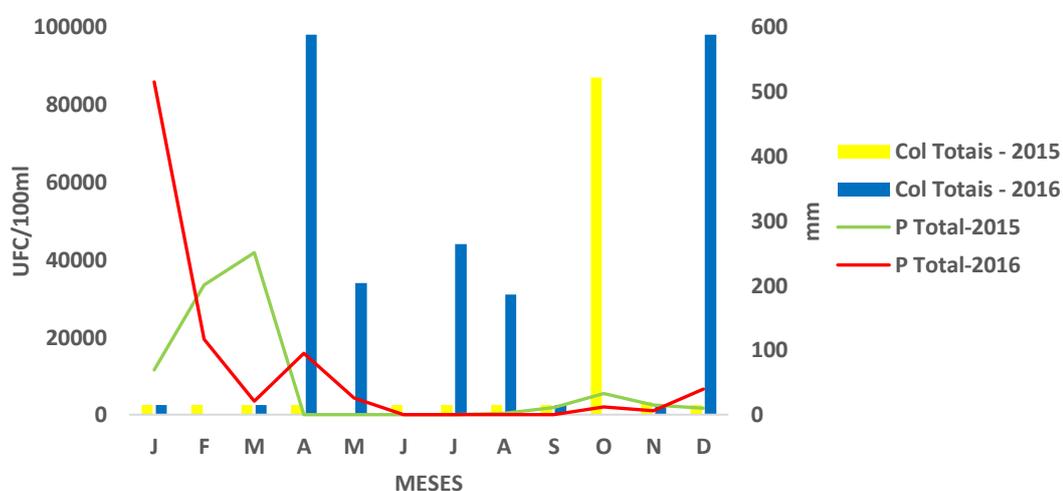
Segundo Libânio (2016), coliformes totais está relacionado a bactérias ambientais e de origem fecal capazes de sobreviver e se reproduzir nas águas naturais, apresentam-se nos esgotos domésticos a concentração de $10^6 \sim 10^9$ organismos/100 ml. Para Silva e Araújo (2003), coliformes totais são bactérias exíguas em fezes e apontam contaminação pelo solo.

Os teores de coliformes totais encontrados em 2015 têm o valor mínimo de 2400 UFC/100 ml no mês de janeiro e concentração máxima de 87000 UFC/100 ml, no mês de outubro. No ano de 2016, a concentração de coliformes totais foi superior a 2400 UFC/100 ml, onde o valor máximo foi de 98000 UFC/100 ml nos meses de abril e dezembro, e a concentração mínima foi nos meses de janeiro, março, setembro e novembro com valor acima de 2400 UFC/100 ml (GRÁFICO 33).

Os valores de coliformes termotolerantes mais elevados devem-se certamente ao fato de as amostras de água encontrarem-se localizadas em áreas urbanas onde ocorrem lançamentos de esgotos domésticos diretamente na rede de drenagem.

A Portaria nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, no controle da qualidade da água, declara que quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, ações corretivas devem ser adotadas e novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultados satisfatórios.

Gráfico 33 – Distribuição anual de Coliformes Totais no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

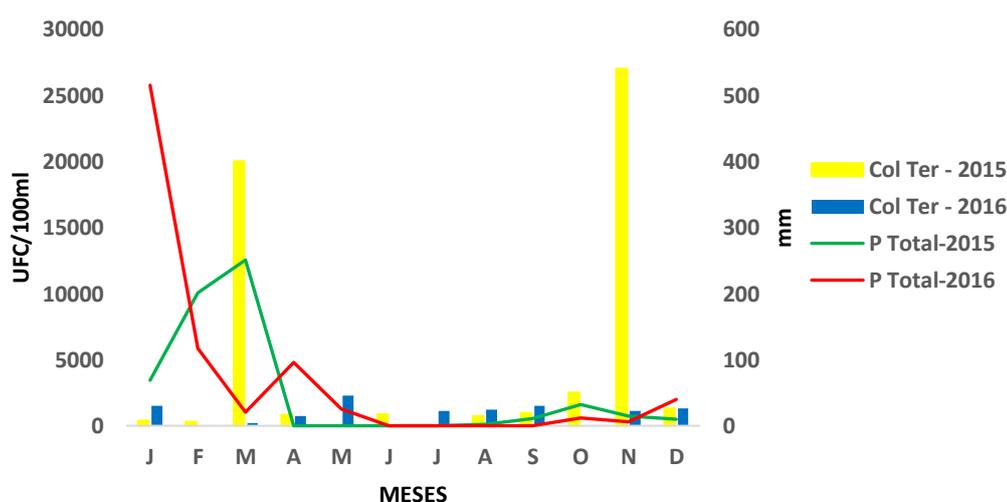
As bactérias termotolerantes são definidas por Libânio (2016), como sendo todas as bactérias aeróbias e anaeróbias, gram-negativas, de forma aproximadamente elíptica das quais fermentam a lactose com formação de gás dentro de 48h a 35 °C.

Conforme Sales (2017), destaca que os coliformes termotolerantes, fazem parte da microbiota intestinal do homem e outros animais de sangue quente, e quando detectados em água evidencia contaminação fecal recente. Este parâmetro é utilizado para avaliar a qualidade das águas por detectar a existência de microrganismos relacionados com a contaminação de doenças de origem fecal.

O gráfico 34 evidencia que quase todos os resultados estão acima do padrão de potabilidade estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. Os valores concentrados no ano de 2015 variam entre 41 UFC/100 ml em julho e 27000 UFC/100 ml em novembro. As análises revelaram os valores superiores à legislação nos meses março, outubro, novembro e dezembro. No ano de 2016, os valores estão entre 200 UFC/100 ml em março a 2300 UFC/100 ml em maio. Foram identificados valores abaixo ao da legislação em março e abril.

A Resolução CONAMA 357/05, estabelece que não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em águas em 80%, ou mais, em um mínimo de amostras coletadas durante o período de um ano para usos como, abastecimento para o consumo humano etc.

Gráfico 34 – Distribuição anual de Coliformes Termotolerante no Rio Parnaíba, na área urbana de Teresina, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

4.2.6 Análise de correlação entre as variáveis físico-química e microbiológica a partir do coeficiente de Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis. (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JÚNIOR, 2009). Conforme PENHA, et al. (2007), um indicador da força de uma relação linear entre duas variáveis intervalares é o coeficiente de correlação de Pearson, é uma medida de associação que independe das unidades de medidas das variáveis. Pode-se dizer, no entanto, que esse procedimento estabelece um nível de influência entre uma variável e outra (QUADRO 22).

Quadro 22 – Coeficiente de Correlação Linear de Pearson

“R”	CLASSIFICAÇÃO
0,70 - 1	Forte
0,40 - 0,60	Moderado
0,10 - 0,30	Fraco
≤ 0	Muito Fraco

Fonte. Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009)

- Correlação feita com os parâmetros Nitrato, Coliformes Termotolerantes, Pluviosidade, Vazão, Temperatura e pH

Dentre os vários parâmetros, determinou-se, alcalinidade, cloretos, DBO, OD, sólidos totais, nitrato e coliformes termotolerantes para a verificação da correlação destes com o uso múltiplo das variáveis pluviosidade, vazão, temperatura e pH para todos os parâmetros citados (TABELA 15).

Verificou-se que o elemento nitrato é influenciado pela vazão e temperatura, e os coliformes termotolerante são influenciados pela pluviosidade e vazão. Aumentando assim suas concentrações de acordo com o aumento das referidas variáveis.

No entanto, os parâmetros alcalinidade, cloretos, DBO, OD e sólidos totais, não caracterizam uma correlação entre os mesmos, tão pouco, com as variáveis citadas (TABELA 15).

Constatou-se que os parâmetros analisados têm suas propriedades alteradas por outros fatores. Piveli e Kato (2005), diz que na natureza, a qualidade das águas sofre alteração concomitante às fases do ciclo hidrológico.

Tabela 15 – Correlação de Pearson feita com os parâmetros Nitrato, Pluviosidade, Vazão, Temperatura e pH (A) e com os parâmetros Coliformes Termotolerantes, Pluviosidade, Vazão, Temperatura e pH (B)

	NITRATO	Pluv.	Vazão	Temp	pH
NITRATO	1	0,188982	0,783003	0,755929	-0,5
Pluv.	0,188982	1	0,758783	-0,5	-0,94491
Vazão	0,783003	0,758783	1	0,184689	-0,93018
Temp	0,755929	-0,5	0,184689	1	0,188982
pH	-0,5	-0,94491	-0,93018	0,188982	1

	COLI. TERM.	Pluv.	Vazão	Temp	pH
COLIFORMES TERM.	1	0,766705	0,785089	0,347573	0,72222
Pluv.	0,766705	1	0,671973	0,035533	0,44333
Vazão	0,785089	0,671973	1	0,555152	0,75577
Temp	0,347573	0,035533	0,555152	1	0,75236
pH	-0,72222	-0,44333	-0,75577	-0,75236	1

Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

- Correlação feita com os parâmetros Ferro, Pluviosidade e Vazão

Fazendo a correlação entre o ferro e a temperatura, é importante ressaltar, que não há correlação entre ambos. Porém, a tabela 16, mostra que houve uma correlação positiva moderada entre as precipitações e o ferro, no ano de 2015, cuja intensidade se aproximou de cerca de 0,6°. Já no ano de 2016, a correlação ultrapassou os 0,6°.

Tabela 16 – Correlação de Pearson feita com os parâmetros Ferro, Pluviosidade e Vazão

	Fe T 2015	P Total 2015	Vazão 2015	Fe T 2016	P Total 2016	Vazão 2016
Fe T 2015	1					
P Total 2015	0,57841473	1				
Vazão 2015	0,58163219	0,63305253	1			
Fe T 2016	0,51312677	0,50660257	0,281327634	1		
P Total 2016	0,22972187	0,364509612	0,348826074	0,6156674	1	
Vazão 2016	0,16196807	0,737325474	0,729184338	0,4184311	0,500677331	1

Fonte: Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); INMET (2015/2016); ANA (2015/2016)

Nas conclusões primárias, vale interpretar que há um relacionamento positivo entre o ferro e as precipitações, já que ambos crescem na mesma proporção. Essa variação entre as

médias no referido ponto ao longo dos meses pode estar associada à precipitação já que, nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2012).

Validando a assertiva, têm-se os dados concretizados através das precipitações no mês de março de 2015 e o mês de fevereiro de 2016, como os meses mais chuvosos dos referidos anos, cujo total de precipitação foi de 250,7 mm e 117 mm, respectivamente.

4.2.7 Índice de Qualidade da Água – IQA

O Índice Geral de Qualidade da Água (IQA) calculado pelo Calculating Water Quality Index, com nove parâmetros (tabela 17), representados por Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerante, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Temperatura (T), Fósforo Total, Nitrato, Turbidez e Sólidos Totais, foi feito para os anos de 2015 e 2016. Ele é eficiente e bastante utilizado para o controle da contaminação dos rios, que converte os valores dos parâmetros físico-químicos em um único número, representando assim, o nível de qualidade da água (MAANE-MESSAI, *et. al.*, 2010)

Deste modo, foi determinada a qualidade da água do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina, através do Índice de Qualidade das Águas.

Tabela 17 – Valores médios dos parâmetros utilizados na análise da água do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina

PARÂMETRO	UNIDADE	ANO/MÊS	
		23/02/2015	25/07/2016
OD	mg/l	7,0	10,0
COLI. TERM.	UFC/100ml	300	110
pH		6,6	7,1
DBO	mg/l	6,0	4,0
TEMP	°C	27	27
FÓSFORO T	mg/l	0,263	0,00
NITRATO	mg/l	2,2	0,2
TURBIDEZ	unt	74,0	20,0
SÓLIDOS T	mg/l	430	20

Fonte. AGESPISA (2015; 2016)

Após efetuado o cálculo do IQA, a qualidade da água do rio foi avaliada de acordo as faixas do mesmo. Com base na Tabela 18, nota-se que a qualidade da água analisada pode ser classificada entre boa e razoável (ANA-IQA). Tendo a qualidade da água especificada como boa em 56% para o ano de 2016, e razoável em 44% em 2015.

Tabela 18 – Índice de Qualidade da Água - IQA

ETA	
DATA	QUANT./QUALI.
23/02/2016	56
25/07/2015	44

Fonte. Costa, 2018. Base de dados: AGESPISA (2016-2016); Cálculo gerado pelo Calculating Water Quality Index

Para a avaliação da qualidade da água, foi concluído que em 2015, suas características analisadas se configuram como uma água que apresenta um aspecto inadequado para seu uso, em virtude de sua classificação, classe II, proporcionando assim, uma ameaça para a saúde pública e para o meio ambiente.

De acordo com a determinação do Índice de Qualidade da Água, em 2016, os resultados da avaliação constataam que houve uma melhoria na qualidade. Comprovado pela redução dos índices dos coliformes termotolerantes, nitrato, turbidez, sólidos totais etc., e pelo aumento dos valores do oxigênio. Sua classificação com boa qualidade indica as possibilidades do uso das águas sem maiores restrições.

4.2.8 Características físico-químicas e microbiológicas das águas segundo dados de coletas e análise direta – 2018

A necessidade de verificação de resultados de análise físico-químico e microbiológico para ano de 2018, contribuiu para se fazer um paralelo com os dados já existentes do ano de 2015 e 2016. Os parâmetros apresentados na tabela 12, são importantes, tanto para a verificação do estado de equilíbrio atual das águas, como para determinar se há necessidade de possíveis intervenções.

Os resultados das análises laboratoriais dos parâmetros físico-químico e microbiológico das amostras de água coleta em dezembro de 2018 estão identificados na tabela 19.

Tabela 19 – Parâmetros físico-químico e microbiológico da água coletada em 2018 no canal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina-PI

Ams.	Local	Coordenadas	Data	Horário da Coleta	COND. ELT. $\mu\text{S/cm}$	T $^{\circ}\text{C}$	pH	ALC. T mg/L	DUR. T mg/L	DUR. do Ca^{++} mg/L	DUR. do Mg mg/L	FE mg/L	CL ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	STD mg/L	COL. TOT. UFC/100 ml	COL. TERM. UFC/100 ml
1	Distrito Industrial	9430381.00 m S 743397.00 m E	05/12/2018	15:00	33,8	27	6,69	27,8	20,64	4,51	2,36	0	8,56	4	0	22,916	-	-
2	Santa M ^a da CODIPI	9446649.00 m S 738111.00 m E	0//5/12/2018	16:00	208	28	7,1	49,5	37,09	12,25	1,57	0	20,92	6	0,5	141,44	-	-
3	Distrito Industrial	9430550.00 m S 743257.00 m E	12/12/2018	08:00		27											12.800	1.680
4				14:20		28												
5	Santa M ^a da CODIPI	9446689.00 m S 738076.00 m E	12/12/2018	10:20		27											9.760	3.280
6				15:30		28												

Fonte. Costa; Oliveira (2018)

- Condutividade Elétrica (CE)

Conforme tabela 19, os valores obtidos da condutividade elétrica mostram variação de 33,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observa-se que os dados coletados a jusante do rio, revelam o potencial de cargas poluidoras de origem urbana, já que a diferença possivelmente foi inserida no trecho urbano da cidade.

Aferindo o valor verificado no ano de 2018, no ponto 1, com a medida máxima dos anos de 2105 e 2016, de 41,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (abril) e 37,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (março) dos respectivos anos, coletado na área de captação da ETA, observa-se um equilíbrio em seus valores.

No ponto 2 o valor encontrado de Condutividade Elétrica ultrapassou o valor máximo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ estabelecido (CETESB, 2009; MACEDO, 2007), para a classe 2 dos espaços brasileiros.

- Temperatura

As temperaturas verificadas *in loco*, registrou uma variação apenas de 27°C e 28° C, significando que não se afastou da média anual.

Comparando esses valores com os dados da AGESPISA (2015; 2016), para o mesmo ponto do rio e mesmo mês, observou-se que houve pouca alteração no valor encontrado. Os valores da AGESPISA evidenciam 32°C e 28°C nos respectivos anos.

- Potencial Hidrogeniônico (pH)

A condição do pH do rio no referido ano apresenta também uma estabilidade, quando comparado aos anos de 2015 e 2016. No ponto 01, encontrou-se o valor de 6,7, mais ácido do que no ponto 2, registrou um valor mais elevado de 7,1.

O maior valor de pH associado às amostras do Rio Parnaíba pode estar relacionado ao tipo de solo e/ou rocha predominante, ou aos processos biológicos fotossintéticos, em virtude de a coleta dessas amostras terem sido realizadas em horário de bastante insolação. De acordo com CETESB (2009), nos processos fotossintéticos, em horários de maior insolação, ocorre maior consumo de CO_2 , diminuindo a acidez, ou seja, aumentando o pH.

Todos os valores de pH obtidos no ano de 2015, 2016 e 2018 encontram-se na faixa de valores estabelecidos pelo CONAMA 357/05 com valores entre 6,0 e 9,0, para a classe 2 das águas doces.

- Dureza

Segundo o UNEP (2008) a dureza é influenciada pela geologia da bacia de drenagem e por atividades antrópicas. As principais fontes de dureza são a dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio, exemplificando, as rochas calcárias e os despejos industriais (VON SPERLING, 2007).

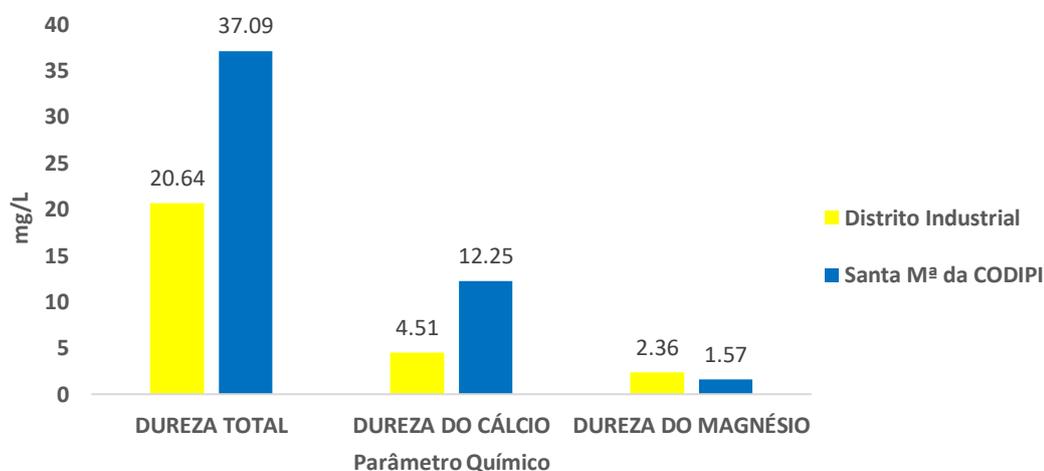
Os valores da dureza mudaram entre 15 mg/L de CaCO_3 no mês de novembro e 40 mg/L no mês de abril de CaCO_3 , no ano de 2016, no ano de 2015, os valores variaram entre 20 mg/L e 26 mg/L de CaCO_3 . Os dados obtidos no presente estudo se mostraram correspondentes a águas moles de acordo com a Legislação (BRASIL, 2006), que estabelece até 50 mg/L de CaCO_3 .

Os valores de dureza encontrados nas águas do rio no ano de 2018 não apresenta diferença em relação aos anos anteriores (2015-2016), onde a dureza total é representada com um valor máximo de 37,1 a jusante e, 20,6 mg/L a montante do canal na área urbana.

A análise indica concentrações aceitáveis de dureza, conforme a Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde, a qual estabelece como o Valor Máximo Permitido (VMP) para água potável 500 mg/L em termos de CaCO_3 .

Evidencia-se pelo gráfico 35, que o rio no transecto urbano, adquire quase o dobro do composto de dureza total, sendo que a dureza do cálcio quase que triplica neste mesmo trecho. No entanto, a dureza do magnésio cai praticamente pela metade.

Gráfico 35 – Distribuição de Dureza a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018)

De acordo com a legislação (Brasil, 2006) nos corpos d'água de reduzida dureza, a biota é mais sensível à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água.

- Ferro

Para Franco *et al.* (2010), os compostos do ferro são encontrados em todos os ambientes aquáticos, mesmo em baixas concentrações, onde sua geoquímica é fortemente determinada pela facilidade de suas valências.

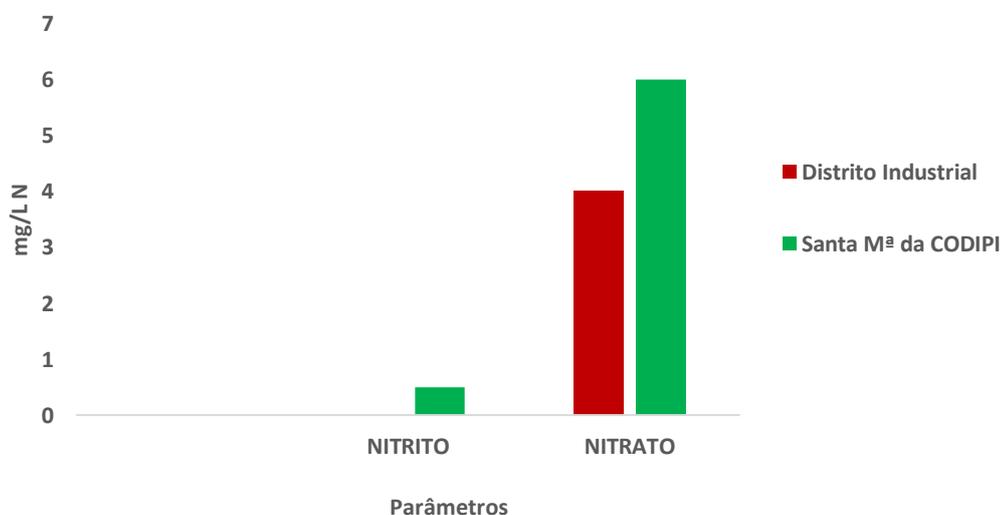
Vale ressaltar que não foi encontrado concentração de ferro nas amostras de água do Rio Parnaíba no ano de 2018 (TABELA 19).

- Amônia (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) e Nitrato (NO_3^-)

Nos ambientes aquáticos naturais, o nitrogênio total amoniacal, engloba as formas do íon amônio [NH_4^+] e amônia [NH_3] dissolvidos, e a equivalência entre elas depende de temperatura, salinidade e, principalmente, pH (BARBIERI, *et al.*, 2014).

Para os dados de 2018, o histograma demonstra a presença de nitrito e nitrato no rio. Todavia, não há ocorrência de nitrito há montante da área de estudo (gráfico 36), área definida como início do trecho urbano de Teresina.

Gráfico 36 – Identificação de Nitrito e Nitrato a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018



Fonte: Costa; Oliveira (2018). Nitrito e Nitrato

Os resultados obtidos no presente trabalho encontram-se muito abaixo desses valores, estabelecidos pela Resolução. O nitrito, no ponto 1 (a montante da área), não apresentou qualquer concentração e, no ponto 2 (a jusante), teve somente 0,5 mg/L. O nitrato, apresentou 4 mg/L de concentração e 6 mg/L, nos respectivos pontos.

Pode-se concluir que a amônia foi a única forma que não apareceu concentração no canal do rio. Isso consiste na possibilidade de que atualmente não está havendo poluição recente no canal. Libânio (2016, p. 77), destaca que “a concentração de nitrato indica poluição remota, ao passo que nitrogênio orgânico ou amoniacal poluição recente”.

- Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos (STD) estão relacionados diretamente com a condutividade elétrica (ARAÚJO & OLIVEIRA, 2013; ESTEVES, 2011, 1998; TUNDISIE & MATSUMURA TUNDISI, 2008).

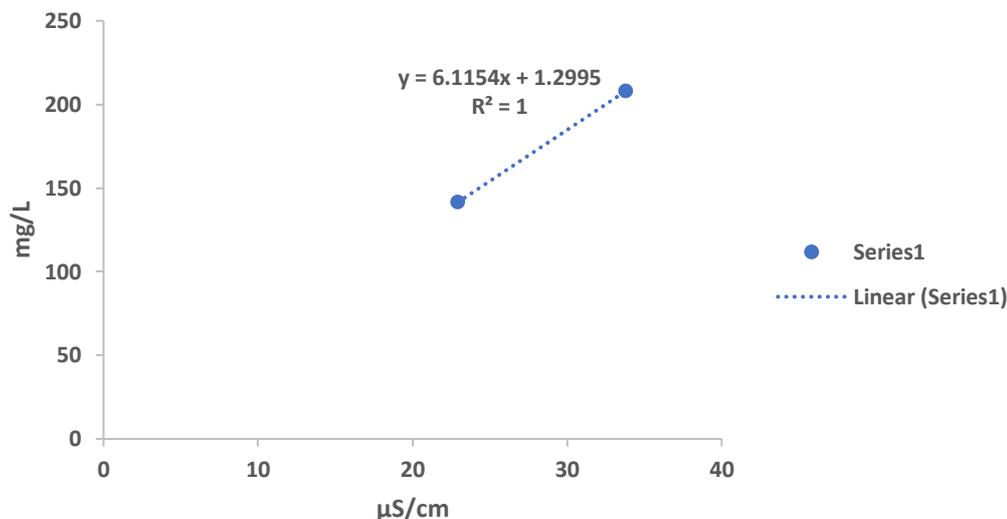
Nesse estudo, para medir o teor de Sólidos Totais Dissolvidos utilizou-se um fator de conversão a partir do valor da condutividade elétrica. Frančišković-Bilinski, *et al.* (2013), usaram os valores da condutividade elétrica, e multiplicaram por 0,67. Assim também, foram encontrados os Sólidos Totais Dissolvidos nas amostras de água coletadas no rio em 2018.

Os teores encontrados de Sólidos Totais Dissolvidos variam de 22,9 mg/L, à montante do rio, a 141,4 mg/L à jusante, conforme tabela 19. Os valores relativos à sua concentração registrados nos anos de 2015, 2016 e 2018, indicam que se encontram abaixo do valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para águas classe 2, que é de 500 mg/L. Esse indicativo evidencia baixos teores de íons dissolvidos na água.

Ao verifica a correlação entre os dois parâmetros citados no ano de 2018, através do fator de correlação linear, têm-se uma correlação perfeita (gráfico 37), cujo coeficiente de correlação de Pearson (r) é igual a 1. Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), destacaram que uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser definido exatamente ao se saber o escore da outra.

Observando o coeficiente de correlação da Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos (gráfico de correlação), têm-se uma relação muito boa ($R=1$) entre as duas variáveis.

Gráfico 37 – Correlação entre CE e STD a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018). CE e STD

- Coliformes Totais e Coliformes Termotolerante

Conforme Libânio (2016, p. 94), os “Coliformes Totais são encontrados em grandes quantidades em ambientes aquáticos, são patogênicos de origem ambiental e fecal capazes de sobreviver e de se reproduzir nas águas naturais, fermentar a lactose e produzir ácido ou aldeído em 24 horas à temperatura de 35 ~37°C”.

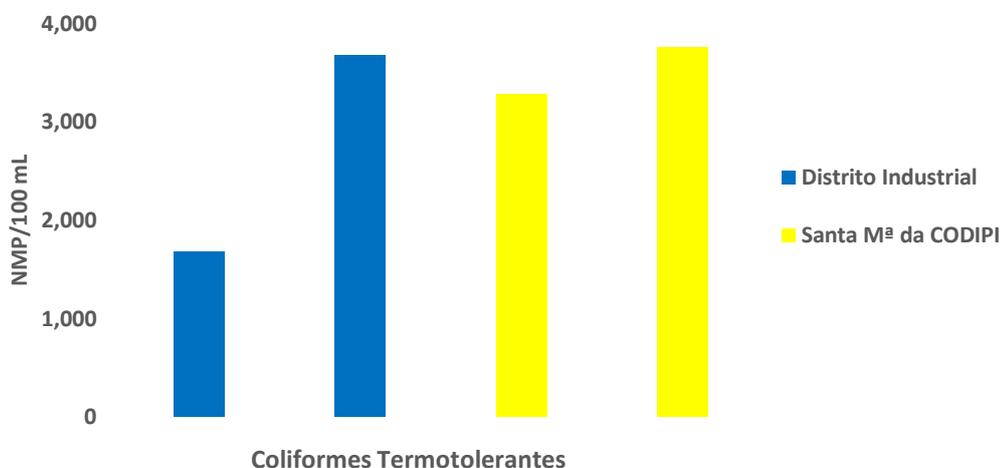
A detecção de coliformes totais nas amostras de água do rio revela incompatibilidade com a Portaria nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, cuja legislação declara para o controle da qualidade da água ausência de coliformes totais nas amostras.

Os valores encontrados nas amostras a montante do rio são de 12.800 UFC/100 ml e 13.280 UFC/100 ml e a jusante do canal obteve-se valores de 9.760 UFC/100 ml e 8.400 UFC/100 ml. Aumentando em aproximadamente 4% a montante, no horário do meio-dia e, decaindo cerca de 14% a jusante no horário do meio-dia.

Para os coliformes termotolerantes a Resolução CONAMA 357/05, coloca que não deverá exceder valor de 1000 UFC para cada 100 ml de água. A Portaria nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, estabelece a necessidade da ausência dos coliformes termotolerantes para cada 100 ml de água.

Esses valores representam um aumento significativo de montante para jusante do canal (GRÁFICO 38). Porém, observou-se que não houve aumento no teor de coliformes termotolerantes quando comparados aos valores do mesmo mês nos anos de 2015 e 2016.

Gráfico 38 – Identificação de Coliformes Termotolerante a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018). Coliformes Termotolerante

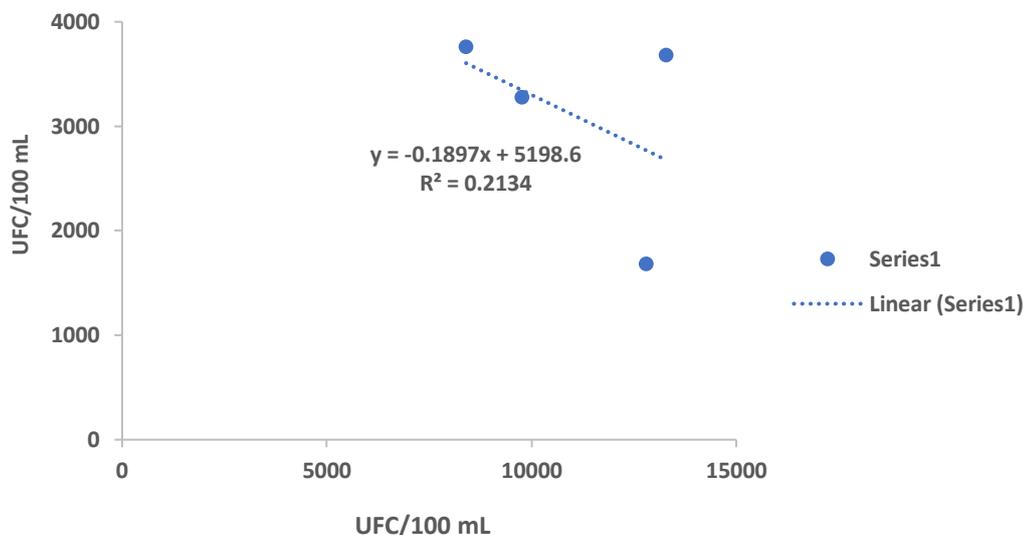
A presença de coliformes termotolerantes nas amostras do ano de 2018 excedem o valor máximo estabelecido pela referida Resolução. Os registros das análises foram de 1.680 UFC/100 ml e 3.680 UFC/100 ml a montante e, 3.280 UFC/100 ml e 3.760 UFC/100 ml, a jusante do canal.

A concentração de coliformes termotolerante do ano de 2018, aumentou cerca de 54% a partir do meio-dia a montante do canal do rio e aproximadamente 13% a jusante (ver tabela 19).

Observou-se que em 100% das amostras estavam contaminadas por bactérias do grupo de termotolerantes em desacordo com a portaria vigente (RESOLUÇÃO CONAMA 357/05).

Embora os coliformes totais e coliformes termotolerantes sejam bactérias do grupo coliformes, não há uma correlação entre ambos, ou seja, o aumento de uma não representa acréscimo da outra (GRÁFICO 39). O gráfico de dispersão indica que o coeficiente de correlação apresenta uma fraca correlação entre as variáveis, cujo (r) é igual a 0,2124.

Gráfico 39 – Correlação entre Coliformes Totais e Coliformes Termotolerante, a montante e jusante do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina, no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018). Dispersão de Coliformes Termotolerante e Coliformes Totais

4.3 A PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO HÍDRICA EM TERESINA

Conforme Silva *et al* (2016), o esgoto é composto principalmente por água, contendo matéria orgânica de origem biológica em forma de partículas macroscópica e microscópica. Tanto o Rio Parnaíba quanto outros corpos receptores estão expostos às descargas de esgotos.

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), elaborou um diagnóstico sobre o Rio Parnaíba, e afirma que as principais pressões sobre a qualidade de suas águas em Teresina, Piauí, são: lançamento de esgoto sem tratamento, disposição inadequada de resíduos sólidos, atividades agropecuárias, desmatamento e uso inadequado do solo.

Pode-se dizer que o volume de efluente lançados diretamente no canal do rio, assim como, os agentes poluidores que estão acoplados em suas partículas são responsáveis por parte das alterações físico-químicas e microbiológica de suas águas.

4.3.1 Análise quantitativa dos efluentes do Rio Parnaíba

As descargas dos esgotos de origem urbana em cursos de água, segundo Sousa (2016), é uma das causas mais relevantes responsável pela degradação da qualidade do ambiente aquático e de efeitos tóxicos aos organismos do referido ambiente.

Os impactos da qualidade do Rio Parnaíba na zona urbana de Teresina foram demonstrados por Rocha (2013), que constatou que os lançamentos de efluentes,

principalmente esgoto doméstico, alteram diretamente a qualidade da água e constituem um foco direto para a geração de doenças de veiculação hídrica.

Conforme se observou nas análises dos dados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico somados ao volume das descargas dos esgotos que caem diretamente no Rio Parnaíba, considerando que no trecho verificado, o curso d'água pode representar problemas para a saúde humana.

De acordo com os dados censitário do IBGE (2010), Teresina apresenta 61,6% de domicílios com esgotamento sanitário adequado. Essa porcentagem, apesar de ser insuficiente para a saúde social, ainda reflete evidências sobre as ocorrências de descarga dos efluentes no canal do Rio Parnaíba, dos quais são identificados como galerias ou bueiros, cujo resíduos são *in natura*, ou seja, sem qualquer tratamento. Todavia, apenas o bueiro ETE despacha águas servidas após passar por estação de tratamento.

Rocha *et al.* (2001), confirma a eficácia da ETE-Pirajá ao observar que não há alteração da qualidade da água após a descarga do efluente, devido à grande capacidade de autodepuração do Rio Parnaíba.

Os bueiros analisados receberam uma nomeação para facilitar sua localização, os mesmos chamam-se: bueiro Areias, bueiro Balão da CEPISA, bueiro Ponte da Amizade, bueiro Carvalho, bueiro Posto de Gasolina, bueiro Iate Clube e bueiro ETE. Cada bueiro fica próximo ou no local cujo nome o denomina.

Ressalta-se que as águas servidas são lançadas *in natura* no canal do rio, excerto as águas que deságuam da ETE-Pirajá. Todas as águas são provindas de usos domésticos dos trechos mais urbanizados da cidade.

Com relação aos esgotos, pode-se dizer que ocorre poluição pontual, uma vez que os mesmos, formam lagoas nas margens do canal.

A saída de esgotos do bueiro Areias compromete a planície de inundação, pois desaguar a cerca de 245 metros distante do canal, percorrendo toda a área, indo em direção ao leito do rio, caracterizando-se como um efluente permanente. Compromete também as residências localizadas nas proximidades, prejudicando a saúde, a segurança e o bem-estar da população local (FIGURA 29).

Figura 29 – Saídas de águas servidas *in natura*, Bueiro Areias



Fonte. Costa (out/2018)

Os efluentes dessa descarga, bueiro Balão da CEPISA, constituíram condições insalubre a margem do canal, formando lagoa, diferenciado do fluxo do rio, acumulando forte sensação de odor somado a uma tonalidade escura de suas águas (FIGURA 30).

Figura 30 – Saídas de águas servidas *in natura*, Bueiro Balão da CEPISA



Fonte. Costa (out/2018)

Os efluentes do bueiro Ponte da amizade são lançados diretamente no rio, assim como o bueiro anterior, há formação de lagoa, produzindo fortes odores e uma tonalidade escura com lâmina superficial de óleo, (FIGURA 31).

Figura 31 – Saídas de águas servidas *in natura*, bueiro Ponte da Amizade



Fonte. Costa (out/2018)

Como os demais bueiros, as descargas dos efluentes do bueiro Carvalho, acarreta influências significativas ao canal do rio formando lagoa, afetando a biota local. (FIGURA 32).

Figura 32 – Saídas de águas servidas *in natura*, bueiro Carvalho



Fonte. Costa (out/2018)

Apesar do bueiro Bolinha corresponder a um baixo volume de descarga, deve-se considerar que seus efluentes promovem alterações na qualidade da água do rio, assim como, na fisionomia da área, acumulando em volume os rejeitos e formando lagoas, (FIGURA 33).

Figura 33 – Saídas de águas servidas *in natura*, bueiro Bolinha



Fonte: Costa (out/2018)

Embora o bueiro Iate Clube descarregue um volume menor de líquido, vale mencionar que as águas servidas originam problemas de poluição hídrica, afetando desfavoravelmente as condições de estética e/ou sanitárias do ambiente (FIGURA 34).

Figura 34 – Saídas de águas servidas *in natura*, bueiro Iate Clube



Fonte: Costa (out/2018)

O bueiro ETE, refere-se basicamente a descarga de efluentes provindas da Estação de Tratamento de Esgotos, que através de um sistema de lagoas, as águas servidas são favorecidas em um processo utilizado para tratamento e posterior despejo no rio. No entanto, seu

lançamento cria condições adversas às atividades sociais e principalmente econômica, uma vez que se desenvolve atividade pesqueira na margem local, (FIGURA 35)

Figura 35 – Saídas de águas servidas *in natura*, bueiro ETE



Fonte. Costa (out/2018)

De acordo com a Lei estadual nº 4.854/96, sob o Art. 26 dispõe que os esgotos sanitários deverão ser coletados, tratados e receber destinação apropriado, para evitar contaminação de qualquer natureza. Ainda sob a mesma Lei, o art. 28, parágrafo 1º discorre que não havendo rede coletora de esgoto, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos são responsáveis para tomada de decisões, sendo impedido a emissão de esgotos *in natura* a céu aberto ou no canal de rios.

Em relação a quantificação de efluentes que cai no canal do rio, seus efeitos não causam danos significativos ao fluxo, considerando que seu volume é “irrelevante” quando associado à vazão do rio, ou seja, há pouca concentração de efluentes no canal (TABELA 20).

A capacidade de suporte do corpo receptor (Rio Parnaíba), supera a demanda de descarga dos efluentes que não compromete profundamente a qualidade das águas do rio. Sua vazão, medida pela Agência Nacional de Águas (ANA), tem valor de 195,6 m³/s, essa medição foi feita na mesma data das medições do volume dos esgotos. A Resolução CONAMA 430/11, Art. 16, estabelece a condição de lançamento de efluentes em corpo receptor cujo “regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor”.

Tabela 20 – Concentração de efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018

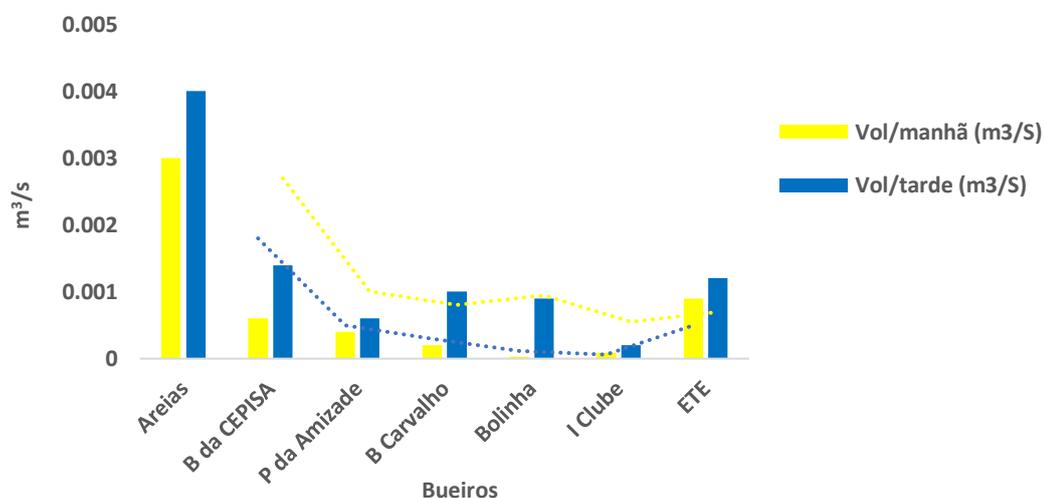
ESGOTOS	COORDENADAS	LOCAL/ BAIRRO	HORÁRIO DA COLETA	VOLUME m ³ /s	HORÁRIO DA COLETA	VOLUME m ³ /s
Areias	N 9429690.00; E 744057.00	Areias	08:27	0,003	13:33	0,004
Balão da CEPISA	N 9435688.00; E 742219.00	Centro	06:05	0,0006	11:57	0,0014
Ponte da Amizade	N 9436196.00; E 742104.00	Centro	06:27	0,0004	12:16	0,0006
Bueiro Carvalho	N 9437711.00; E 740975.00	Matinha	06:48	0,0002	12:44	0,001
Bolinha	N 9437777.00; E 740938.00	Matinha	06:56	0,00003	12:38	0,0009
Iate Clube	N 9437977.00; E 740769.00	Matinha	07:09	0,00009	13:08	0,0002
ETE	N 9438705.00; E 740349.00	Pirajá	07:23	0,0009	12:56	0,0012
Estação Elevatória	N 9442711.23; E 739616.76	Olarias	08:41	0,14		

Fonte. Costa (out/2018)

Observando o gráfico 40, no bueiro Areias identifica-se a maior concentração de efluentes lançados, cujo valor foi de 0,003 m³/s no horário da manhã e 0,004 m³/s à tarde. A menor concentração foi verificada no bueiro Bolinha com valor de 0,00003 m³/s no horário da manhã.

Todas as concentrações encontradas dos efluentes estão conforme a Resolução CONAMA 430/11.

Gráfico 40 – Concentração de efluentes das galerias que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina, no ano de 2018



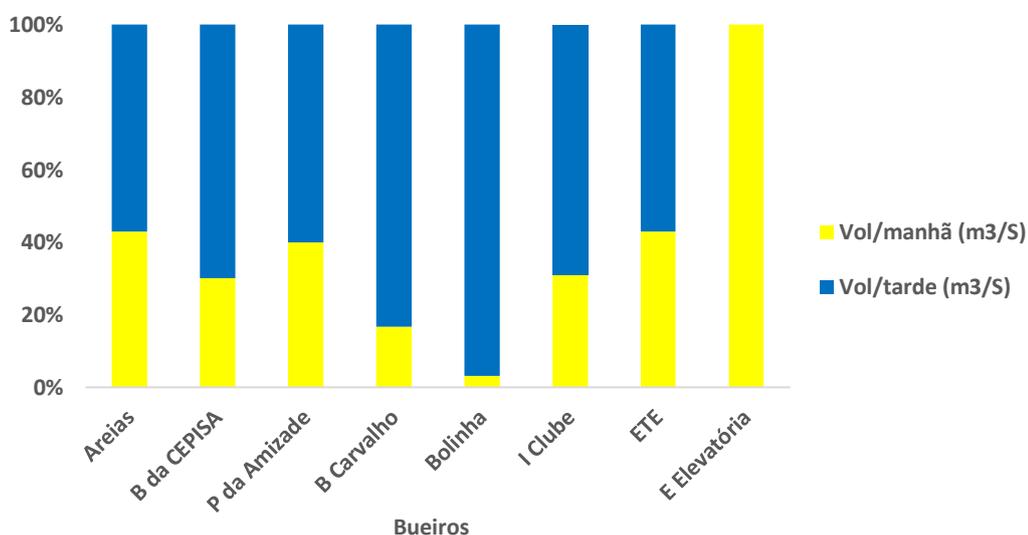
Fonte. Costa (out/2018)

Observa-se que duas galerias têm aumento em mais de 90% no período de meio dia, bueiro Carvalho e Bolinha, (gráfico 41), a justificativa é dada por ser uma área residencial. Já as descargas dos bueiros Balão da CEPISA e Ponte da Amizade são provenientes principalmente das áreas comerciais.

O bueiro Areias praticamente não apresenta diferença na vazão nos horários verificados, há duas hipóteses para tal situação. A primeira está relacionada diretamente ao horário de medições da vazão, em que possivelmente as pessoas já saíram de suas residências para o trabalho, não produzindo efluentes. A segunda hipótese diz respeito às próprias características do local, sendo um bairro com grande quantidade de comércios, não havendo redução de produção de efluentes por não haver saída significativa de pessoas do bairro.

O bueiro Iate Club tem os mesmos predicativos atribuídos ao bueiro Carvalho e Bolinha. A descarga da ETE é proveniente de tanques de tratamento de esgoto, com vazão controlada por agentes da estação. A Estação Elevatória, também tem sua descarga controlada em horários e dias convenientes, dependendo do volume de água no ‘reservatório’, porém não é tratada.

Gráfico 41 – Representação em percentual dos efluentes que caem diretamente no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018



Fonte. Costa (out/2018)

4.3.2 Análise dos parâmetros físico-químicos para avaliação quantitativa dos efluentes estudados do Rio Parnaíba

A carência de tratamento das águas servidas em Teresina, contribui para um problema de estética e saúde ambiental. Como evidenciado por Piveli e Kato (2005, p.113):

Os esgotos sanitários se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais contendo taninos (efluentes de curtumes), anilinas (efluentes de indústria têxteis, industriais de pigmentos, etc.), lignina e celulose (efluentes de indústria de celulose e papel, da madeira, etc.)

Em geral, as atividades domésticas, comercial e industrial são responsáveis pela geração de significativa quantidades de esgotos na cidade de Teresina que cai diretamente no canal do Rio Parnaíba. Suas propriedades mais visíveis estão relacionadas à cor e ao odor, que facilmente são perceptíveis.

Piveli e Kato (2005), descreve que a cor de uma amostra de água está relacionada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, ocasionado pela presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Neste contexto, destaca-se alguns parâmetros analisados nos efluentes domésticos, que fomentam a magnitude de impacto nas águas do Rio Parnaíba, são eles: Condutividade Elétrica, Potencial Hidrogeniônico, Amônia, Nitrito e Nitrato.

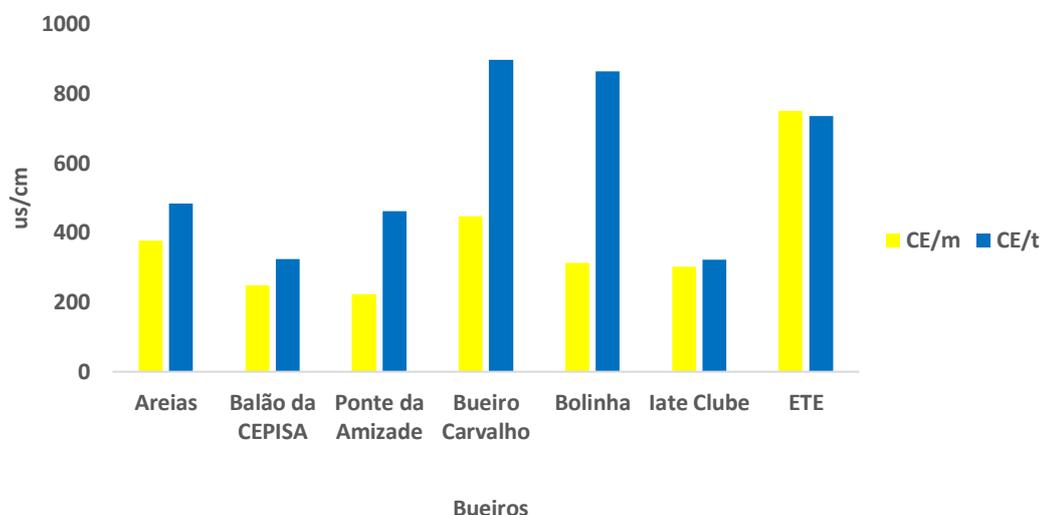
- Condutividade Elétrica

Frigo (2006), afirma que quanto maior a condutividade elétrica, maior será o teor salino em águas residuais. Assim, deve-se destacar as análises de Condutividade elétrica das águas servidas que caem no canal do rio, dos quais revelam para todas as amostras, o aumento de seu valor no horário a partir de meio dia, com concentração mínima de 322 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e máxima de 897 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os bueiros (Areias, Balão da CEPISA e ETE), aumentam cerca de 20% de sua condutividade, três deles (Ponte da Amizade, Carvalho e Bolinha), superam 50% do valor verificado no horário da manhã, que tem concentração variando entre 224 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (GRÁFICO 42).

Contudo, há um único bueiro que registra uma equiparação de valores nos dois horários de coleta, bueiro ETE, com valor de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no horário da manhã e 736 $\mu\text{S}/\text{cm}$, à tarde, este é tratado.

Tal proposição revela que o problema causado pela condutividade elétrica está relacionado a possíveis taxas de sal que encontra nos efluentes e que cai diretamente nas águas do rio. Para a CETESB (2009), a condutividade elétrica representa uma medida indireta da concentração de poluentes na água, considerando níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ passíveis de ambientes impactados.

Gráfico 42 – Concentração de Condutividade elétrica nos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018)

Existem efeitos diretos no contato do solo onde o esgoto deságua, dessa forma, não só o rio pode estar impactado, como também todo o sistema ambiental.

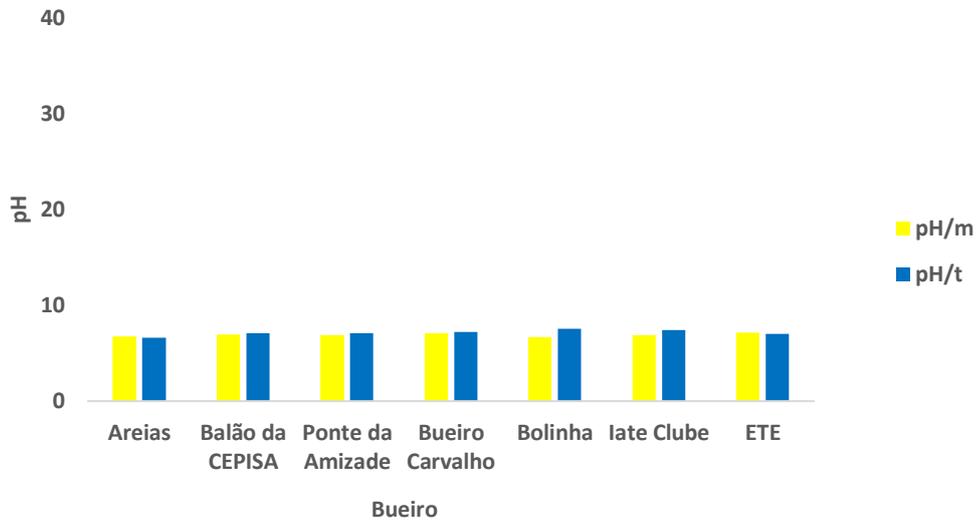
- Potencial Hidrogeniônico - pH

Segundo Libânio (2016), o pH ajuda no grau de solubilidade de várias substâncias, alterando a cor, elevando sua intensidade. Portanto, considerando as análises feitas com os efluentes, (gráfico 43), para aferir seu grau de acidez ou basicidade verificou-se as variações dos valores nos pontos de coletas (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07), que oscilaram entre 6,62 e 7,54.

O maior valor de pH registrado pela manhã foi de 7,14, da amostra do bueiro ETE, do qual é esgoto tratado. O menor valor para o mesmo horário foi de 6,72, no bueiro Bolinha.

Comparado com os valores da coleta feita a partir do meio-dia, todas as amostras se encontram com pH entre 7,06 e 7,54, à exceção do efluente do bueiro Areias, que registrou pH de 6,62. Os resultados das análises encontram-se em consonância aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011, que estabelece as condições de lançamento de efluentes em corpo receptor cujo pH esteja entre 5 e 9.

Gráfico 43 – Concentração do Potencial Hidrogeniônico (pH) nos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018

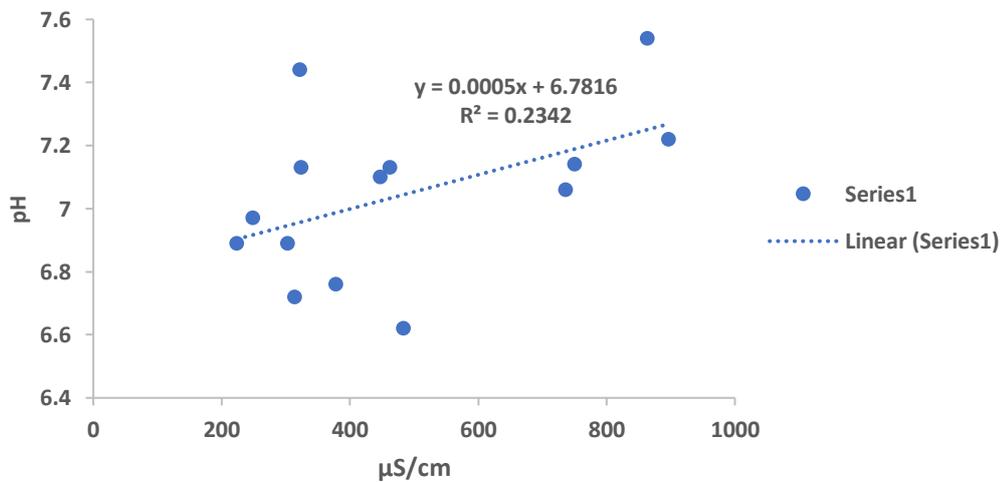


Fonte. Costa; Oliveira (2018)

Os resultados das coletas sugerem que os efluentes não representam aumento de pH nas águas do rio. Sendo que o bueiro Bolinha tem pH 7,54 demonstra uma certa alcalinidade.

Conforme considerou os valores de Condutividade Elétrica e pH, observa-se que ambos não apresentam correlação (gráfico 44). O coeficiente de determinação ficou abaixo de 0,3.

Gráfico 44 – Dispersão linear com linha de tendência da Condutividade Elétrica com pH dos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018). CE e pH

- Amônia (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) e Nitrato (NO_3^-)

De acordo com Metcalf & Eddy (1991, *apud* Piveli e Kato, 2005), os esgotos sanitários indicam 20 a 85 mg/L de nitrogênio, com 8 a 35 mg/L de nitrogênio orgânico e 12 a 50 mg/L, nitrogênio amoniacal.

Conforme Baur (2012), a contaminação de cursos d'água por substâncias orgânicas contendo nitrogênio e fósforo são responsáveis pela mortandade de peixes e outros animais e que por sua vez, serve de alimento para bactérias. Magossi e Bonacella (2003), salienta que são as bactérias que produzem gases como metano (CH_4), amônia (NH_3) e gás sulfídrico (H_2S), bastante malcheirosos e nocivos aos animais superiores.

Neste cenário, destaca-se características que confirmam a veracidade das assertivas feitas pelos citados autores, do qual confere fortes odores na margem direita do rio, cuja sensação corresponde a cheiro de ovo podre. Assegura-se que tal sensação constitui da presença de sucessivas despejos de efluentes no canal do rio.

De acordo com Sousa (2016), o nitrogênio amoniacal é a forma reduzida do nitrogênio, indica se o efluente sanitário é recente ou não, ou seja, quanto maior sua predominância, mais recente é o esgoto. No entanto, as amostras analisadas não evidenciam concentração do mesmo.

O nitrito, por sua vez, é a forma oxidada do nitrogênio, que expressa a idade do efluente sanitário, quanto maior a predominância de nitrito, mais antigo é o esgoto, ou seja, em esgotos recentes (SOUSA, 2016).

A concentração de nitrito dos efluentes estudados variam de 0,0 mg/L N a 0,5 mg/L N, sendo que algumas amostras não se encontram dentro da faixa para esgoto doméstico. (JORDÃO e PESSOA, 2005), afirma que a concentração de nitrito varia de 0,0 - 0,10 mg/L N.

Observa-se no gráfico 41, os valores de nitrito com concentração máxima no horário da manhã de 0,5 mg/L, em três das galerias (Balão da CEPISA, Ponte da Amizade e Carvalho), localizadas mais ao centro da cidade. No período da tarde, o valor máximo de nitrito foi de 0,3 mg/L nos bueiros Balão da CEPISA e Iate Clube. Nos bueiros Areias e Bolinha, não houve evidências de nitrito em nenhuma das coletas. Já nos bueiros Iate Clube e ETE, evidenciou-se nitrito somente na parte da tarde com valor de 0,3 mg/L e 0,2 mg/L, respectivamente.

A Resolução CONAMA 430/2011, não dispõe de regulamentação sobre a concentração mínima de nitrito e nitrato em efluentes para lançamento em corpos hídricos.

Segundo Sousa (2016), o nitrato é a forma oxidada do nitrogênio, sua quantidade indica se é recente ou mais antigo, quanto maior sua predominância, mais antigo é o esgoto.

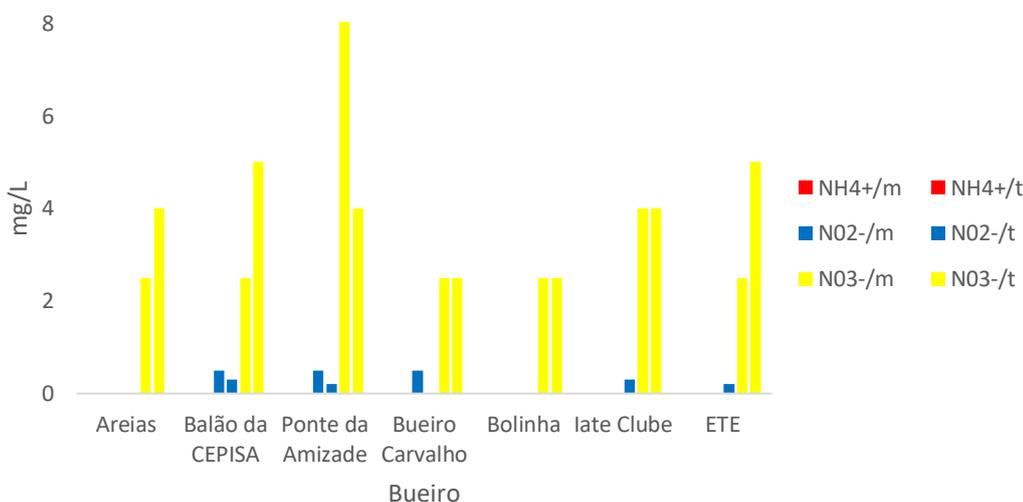
A concentração do nitrato nos efluentes analisados foi identificada em todos os bueiros com valores variando entre 2,5 mg/L N a 10 mg/L N, indicando que os mesmos estão fora da faixa para esgoto doméstico (GRÁFICO 45). Conforme Jordão e Pessoa (2005), cujo valor designado pelo mesmo varia entre 0,10 – 0,40 mg/. Já Von Sperling (2005), estipula uma faixa que varia entre 0 a 1 mg/L N.

No bueiro Ponte da Amizade identificou-se uma concentração de 10 mg/L N, no horário da manhã, a tarde a concentração caiu para 4 mg/L. Os bueiros Balão da CEPISA e ETE, registraram 5 mg/L N no horário da tarde.

Os bueiros Carvalho e bolinha mantiveram seu valor de teor de nitrato, ambos registraram 2,5 mg/L em todas as amostras. Tanto bueiro Areias quanto a ETE aumentaram o teor de nitrato no horário da tarde, seus valores saíram de 2,5 mg/L para 4,0 mg/L e 5,0 mg/L respectivamente.

Para Baur (2012), o maior problema decorrente da introdução de nitrogênio nos corpos receptores (rios, lagos e outros) é o risco de eutrofização dos mesmos.

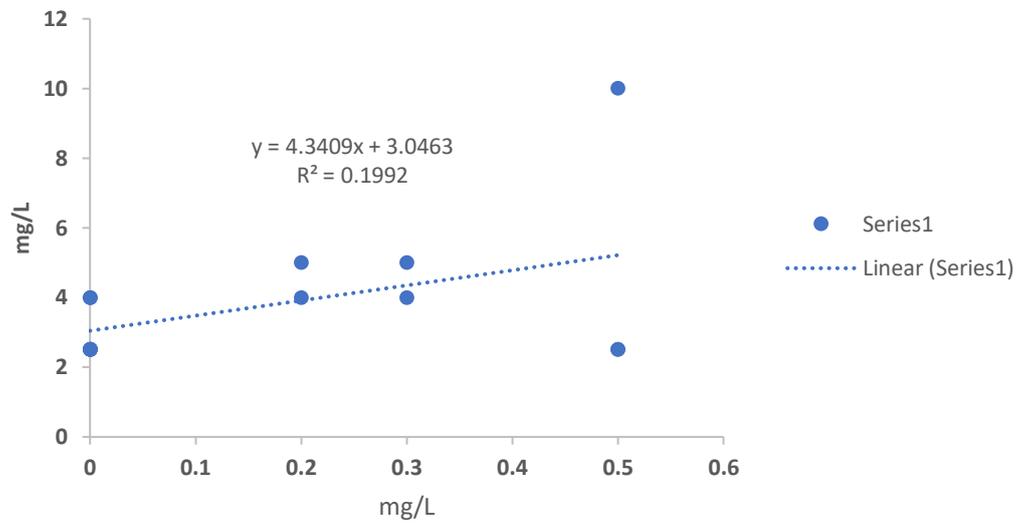
Gráfico 45 – Concentração de Amônia, Nitrito e Nitrato dos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018



Fonte: Costa; Oliveira (2018). Amônia, Nitrito e Nitrato

Pode-se observar que o nitrato aumenta no horário da tarde, e não há correlação com o nitrito (GRÁFICO 46).

Gráfico 46 – Dispersão linear com linha de tendência de Nitrito e Nitrato dos efluentes que caem no canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina no ano de 2018



Fonte. Costa; Oliveira (2018). Amônia, Nitrito e Nitrato

As amostras coletadas a partir das 11 horas evidenciou que cerca de 71 por cento delas indicam altos valores de nitrato (TABELA 21).

Tabela 21 – Amostras dos parâmetros físico-químico de águas servidas que caem no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina

AMOSTRA FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUAS SERVIDAS

<i>Amostra</i>	Local	Coordenadas	Data	Horário da Coleta	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA $\mu\text{S/cm}$	pH	AMÔNIA mg/l	NITRITO mg/l	NITRATO mg/l
<i>P1</i>	B. Areias	9429690.00 m S; 744057.00 m E	02/10/2018	08:27	378	6,76	0	0	2,5
				13:33	484	6,62	0	0	4
<i>P2</i>	B. Balão da CEPISA	9435688.00 m S; 742219.00 m E	02/10/2018	06:05	249	6,97	0	0,5	2,5
				11:57	324	7,13	0	0,3	5
<i>P3</i>	B. Ponte da Amizade	9436196.00 m S; 742104.00 m E	02/10/2018	06:27	224	6,89	0	0,5	10
				12:16	462	7,13	0	0,2	4
<i>P4</i>	B. Carvalho	9437711.00 m S; 740975.00 m E	02/10/2018	06:48	447	7,1	0	0,5	2,5
				12:44	897	7,22	0	0	2,5
<i>P5</i>	B. Bolinha	9437777.00 m S; 740938.00 m E	02/10/2018	06:56	314	6,72	0	0	2,5
				12:38	864	7,54	0	0	2,5
<i>P6</i>	B. Iate Clube	9437977.00 m S; 740769.00 m E	02/10/2018	07:09	303	6,89	0	0	4
				13:08	322	7,44	0	0,3	4
<i>P7</i>	B. ETE	9438705.00 m S; 740349.00 m E	02/10/2018	07:23	750	7,14	0	0	2,5
				12:56	736	7,06	0	0,2	5

Fonte. Costa; Oliveira (2018)

Como consequência dos efluentes que caem no canal do rio, prevalece a relação de aumento dos valores dos parâmetros em direção a jusante. Como se observa, o setor comercial libera maiores teores de poluentes.

Desta forma o Rio Parnaíba torna-se cada vez mais, um canal que vincula líquido poluídos, reduzindo sua potabilidade e aumentando seu potencial de nutrientes impróprios para o consumo humano.

4.4 SEDIMENTOLOGIA DO RIO PARNAÍBA

O termo sedimentologia foi proposto pela primeira vez por Wadell (1932), definindo-a como o estudo dos sedimentos.

A granulometria é uma das propriedades físicas fundamentais para estudar os sedimentos. A classificação granulométrica, segundo Dias (2004), mais conveniente para a aceitação da comunidade científica, está relacionada as dimensões das partículas, mais simplista, é a quantificação por grandes classes dimensionais, ou seja, a “análise textural”: cascalho, areia, silte e argila.

O objetivo deste trabalho, é avaliar as condições do substrato do fundo fluvial do Rio Parnaíba, buscando a compreensão da hidrodinâmica a partir da interação entre as características granulométricas dos sedimentos.

Suguio (1973), relata que o tamanho dos grãos se constitui como uma das propriedades fundamentais isoladas de rochas sedimentares, os tamanhos são expressos em distribuição granulométrica, por meio de análises granulométricas ou mecânicas.

Em 2003, Suguio acrescenta que o tamanho das partículas em sedimentos clásticos proporciona uma classificação em *rudáceos* (ou *psfíticos*), *arenáceos* (ou *psamíticos*) e *lutáceos* (ou *pelíticos*).

O conjunto dos parâmetros que denota outros resultados das análises granulométricas dos sedimentos, estatisticamente é baseada na proposta de Folk e Ward (1957), descrita a partir de dados que classificam os valores em: média, mediana, assimetria e curtose.

No entanto, Otto (1939), já havia proposto, que a média é uma medida de tendência central aproximativa à média granulométrica. Trask (1930), propôs que a mediana corresponde ao diâmetro que divide a distribuição em duas metades com pesos iguais, uma constituída por partículas mais grosseiras (com diâmetros maiores), e outra por partículas mais finas (com diâmetros menores).

A assimetria é definida segundo Dias (2004), como o resultado da divisão do Desvio Médio Cúbico pelo cubo do desvio padrão, ou seja: as distâncias dos pontos médios de cada classe são positivas à direita da média e negativos à esquerda, o somatório será nulo na curva normal, sendo esta simétrica. Conforme o autor citado, a angulosidade (*Kurtosis*), está na base da determinação da angulosidade da curva.

4.4.1 Análises dos sedimentos de fundo do canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina

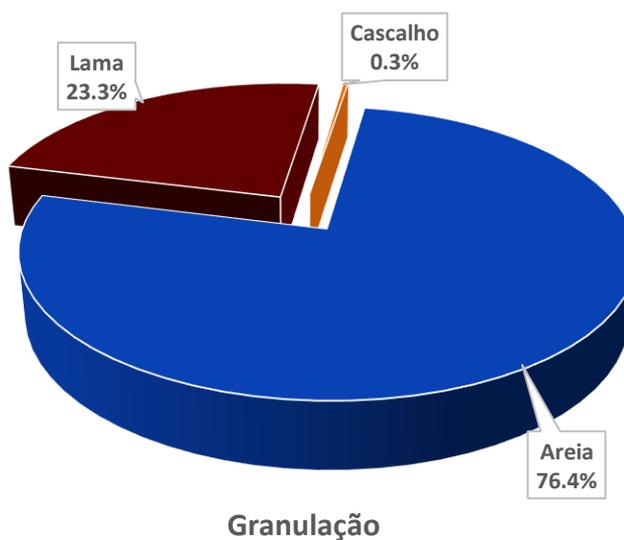
Os parâmetros obtidos com os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimentos de fundo do canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina foram média, mediana, assimetria e curtose.

As análises sedimentológicas no trecho estudado, compreendem a verificação granulométrica e morfooscópico dos sedimentos. Para Suguio (2003), as propriedades físicas dos sedimentos, como o tamanho, a forma e o arranjo espacial dos componentes mineralógicos estabelecem suas propriedades texturais mais importantes definindo sua microgeometria.

- Distribuição Granulométrica

Das quarenta e nove (49) análises granulométricas, tem-se o predomínio da fração areia, 76,4% das amostras, sobre a lama, cerca de 23,3%. A fração cascalho tem pequena frequência de apenas 0,3% das amostras (GRÁFICO 47).

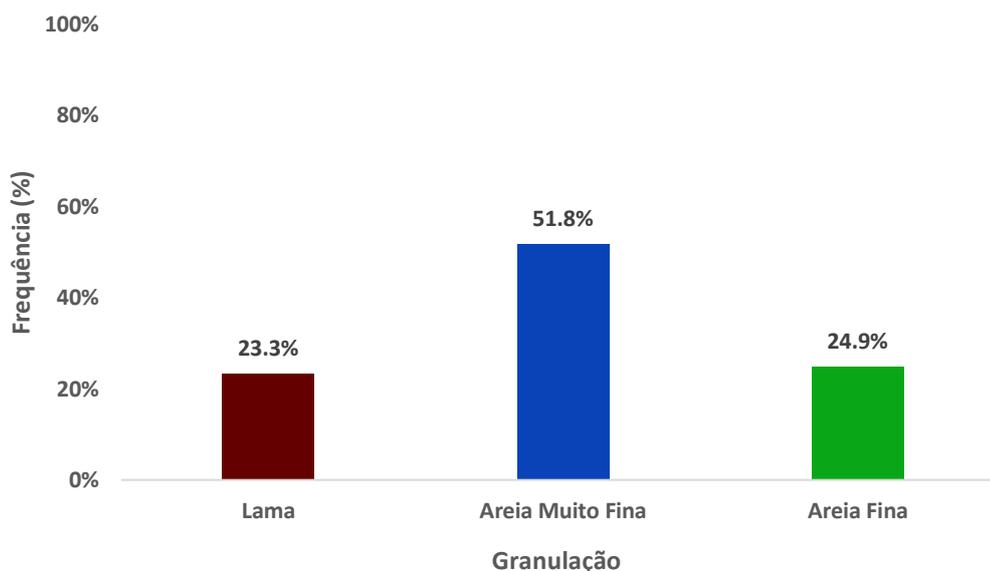
Gráfico 47 – Diagrama mostrando os teores de ocorrência de cascalho, areia e lama em percentagem na calha do Rio Parnaíba , trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

Como disposição geral dos sedimentos, constatou-se que há predomínio de materiais de granulometria arenosa, com frações que correspondem a lama 23,3%, areia muito fina (51,8%), e areia fina (24,9%) da granulação (GRÁFICO 48).

Gráfico 48 – Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez /2017)

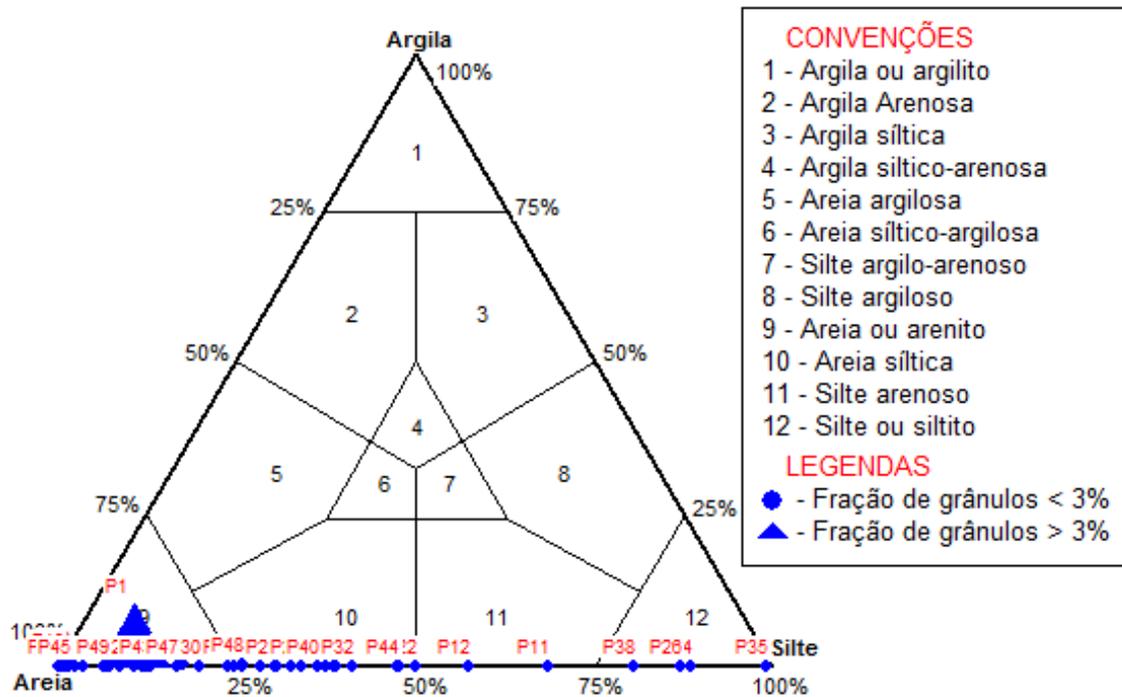
Para as interpretações dos dados sobre o canal do rio na área estudada, utilizou-se o diagrama triangular de Shepard (1954), que representa os atributos granulométricos e características mineralógicas.

Muitas amostras do rio, no trecho estudado aparecem sobrepostas por serem de composições granulométricas muito semelhantes entre elas. Camargo (2006), afirma que na representação gráfica da composição granulométrica dos sedimentos no Sysgran, muitas amostras plotadas simultaneamente podem gerar gráficos confusos.

Os resultados no diagrama apresentam uma elevada quantidade de areia, sendo significativa as frações de grânulos < 3% (GRÁFICO 49). Dentre elas, podem ser apontar as amostras dos sedimentos clásticos dos pontos P (1; 15; 21; 29; 30; 35; 37; 43 e 47), com granulação entre 80% e 90% de areia e, os pontos P (4; 6; 7; 10; 13; 16; 19; 25; 28; 31; 33; 34; 36; 39; 42; 45; 46 e 49), com granulometria entre 91% a 100% arenoso. Os pontos P (2; 8; 9; 23 e 48), caracterizam-se entre 70% e 77% de granulometria arenosa e, uma variação entre 1% a 29% de silte. Os pontos cuja granulometria varia entre 40% e 69% de silte, tem-se P (11; 12;

32; 41 e 44), contudo, onde há predominância de silte, com valores entre 70% e 100%, estão nos pontos P (24; 26 e 38).

Gráfico 49 – Diagrama de Shepard (1954), contendo os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimentos clásticos na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

- Fração Cascalho

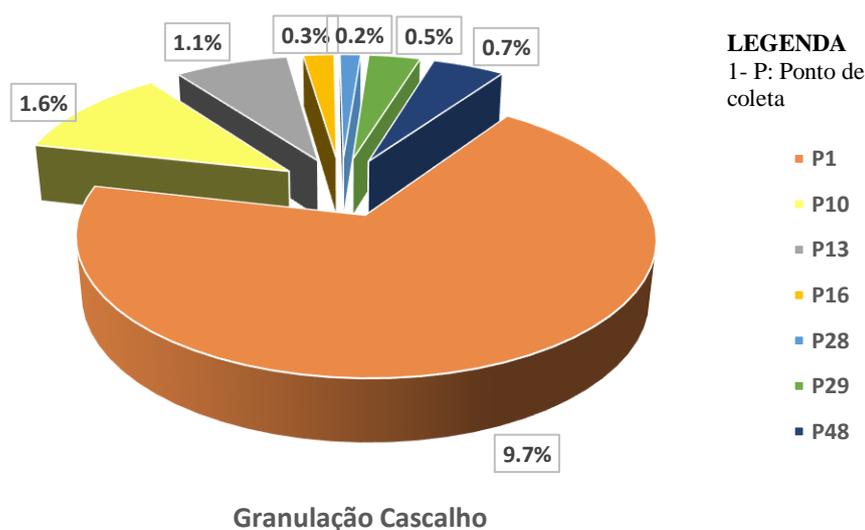
A fração cascalho constitui partículas de grânulos mais grosseiros. Na escala granulométrica exposta por Suguio (1973), de Inman (1952), a granulação de cascalho varia entre -1 a -2 ϕ , ou seja, um valor entre 2 a 4 mm.

Os pontos estudados para este parâmetro foram: ponto P1, está localizado na margem direita do rio. P10 e P13, localizam-se no meio do canal, no sentido transversal, essas áreas se caracterizam com uma rasa sedimentação. A profundidade do P13 é de aproximadamente -5 metros, o P16, coincide com a área de batimetria Gil Martins, com profundidade cerca de -7, metros. O P28 está localizado entre os pontos de batimetria Ponte Metálica e Iate Clube, meio do canal transversal, com uma média de aproximadamente -7,8 metros de profundidade. Os pontos P29 e P48, localizam-se na margem direita do canal. A área do P48 fica a jusante do encontro dos Rios Poti com o Parnaíba.

De todas as amostras, 14% analisadas contêm cascalho. A área em estudo apresenta baixa concentração de cascalhos, localizados nos pontos: P1 (9,7%), P10 (1,6%), P13 (1,1%), P16 (0,3%), P28 (0,2%), P29 (0,5%) e P48 (0,7%), (GRÁFICO 50).

O ponto P1 concentra a maior percentagem da fração cascalho na amostra e o P28 concentra a menor percentagem.

Gráfico 50 – Diagrama de distribuição da fração cascalho, em percentagem na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

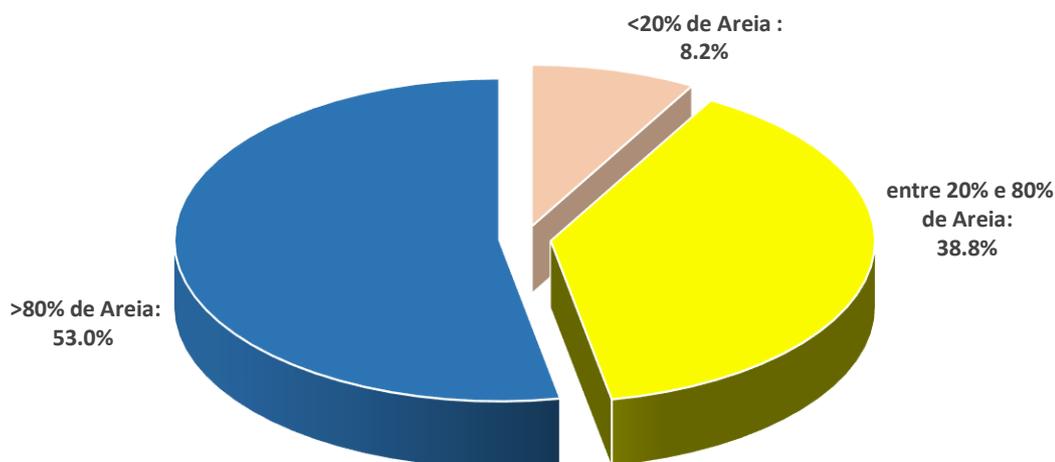
- Fração Areia

A fração areia evidencia partículas de granulação que varia entre areia muito fina e areia fina. Na escala granulométrica exposta por Suguio (1973), de Inman (1952), essa granulação está entre 4,0 e 3,0 ϕ , ou seja, um valor entre 0,062 e 0,125 mm.

Em quase todas as amostras da área estudada, foram encontradas granulação areia com valores acima de 30% em cada ponto coletado, somente as amostras P24; P26; P35 e P38 apresentaram valores inferiores a 20%. A P35 se caracteriza com apenas 0,9323% de areia.

A área estudada para esta fração granulométrica representa 74,6% dos sedimentos, das 26 amostras (53%) tem valores acima de 80% de areia, 38,8% das amostras contêm entre 30% e 80% de areia, e apenas 8,2% das amostras tem valores inferiores a 20% de areia (GRÁFICO 51).

Gráfico 51 – Diagrama de distribuição da fração areia em percentagem na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

- Fração Lama

Suguio (1973), coloca que os sedimentos menores que 1/16 mm (0,062 mm) de diâmetros, são sedimentos finos, identificados como lama.

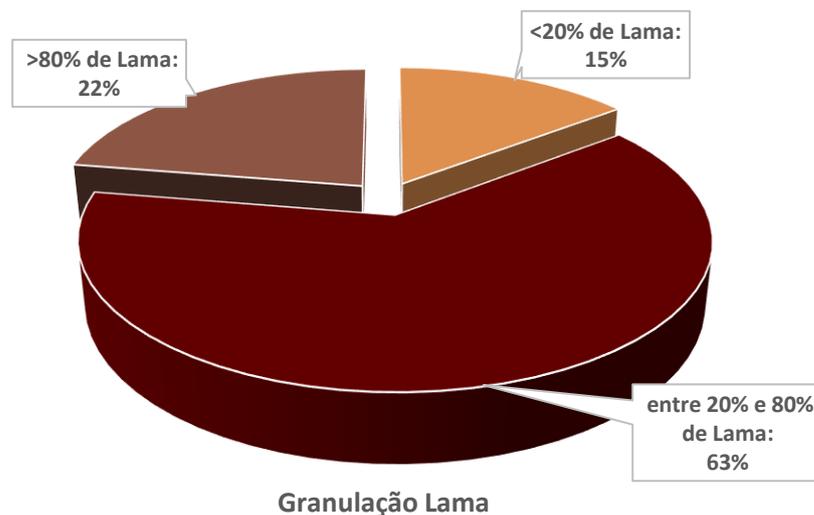
A lama representa 23,3% dos sedimentos analisados nas amostras. Dos quais estão distribuídos em proporções diferenciadas em cada ponto das análises, sendo que 53% dos sedimentos têm um valor inferior a 20% de lama. 38,8% têm uma representatividade variando entre 20% e 80% e apenas 8,2%, é representada por mais de 80% de lama (GRÁFICO 52).

Em todas as amostras de sedimentos (49), há evidência de lama. Porém em 26,5% delas P (4-6-7-10-13-16-25-28-33-34-36-39-45) apresenta baixa quantidade, com um volume abaixo de 4% de lama para cada amostra.

O ponto P24, localizado na margem direita do canal, tem a maior percentagem de lama com 88,5% da fração, e o ponto P7, localizado no meio do canal, tem a menor percentagem de lama com 0,1%.

Os pontos com maiores quantidades de lama localizam-se às margens do rio, contudo, dos três pontos que contém mais de 80% de lama, dois deles P(26; 38) estão na margem esquerda, ou seja, não está associada à caracterização urbana de Teresina.

Gráfico 52 – Diagrama de distribuição da fração lama em percentagem na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

- Diâmetro Médio dos Sedimentos

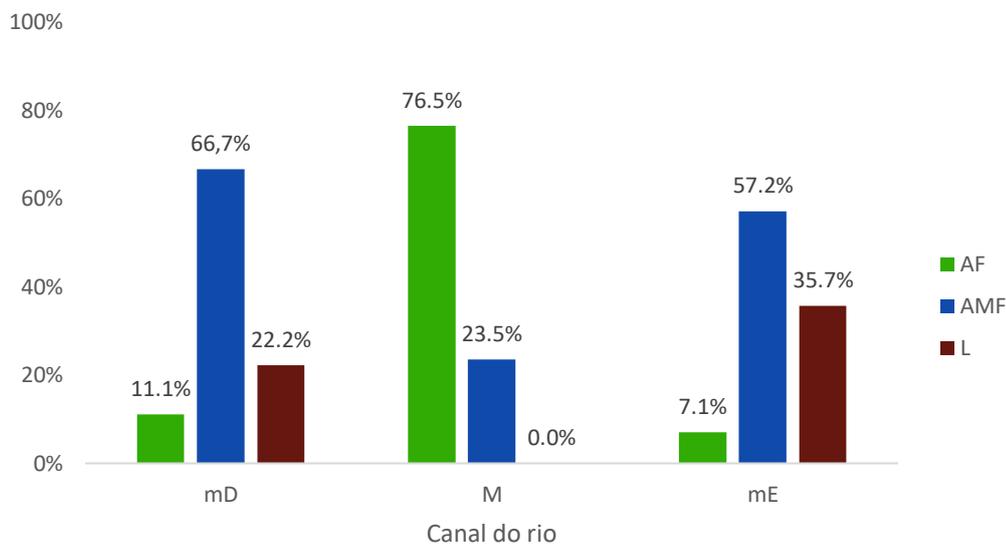
A média aritmética ou diâmetro médio de um sedimento corresponde à distribuição média do tamanho das partículas (BARBOSA, 2006).

Com base nos dados do diâmetro médio das amostras, aflora a constatação de três diferentes tamanhos de partículas, nos seguintes intervalos: 2 a 3 ϕ (0,250 a 0,125 mm) areia fina; 3 a 4 ϕ (0,125 a 0,062 mm) areia muito fina; > 4 ϕ (> 0,062 mm) silte. Esta classificação foi realizada em três posições diferentes: margem direita, margem esquerda e meio do canal.

A areia fina predomina no meio do canal, com 81,25% da área em estudo. A fração areia muito fina, com 50% das amostras, predomina na margem direita. Na outra vertente (margem esquerda), 55,56% dos pontos apresentaram silte (lama). observou-se que no meio do canal não houve ocorrência de silte.

Conforme o gráfico 53, observa-se, que na margem direita do canal, predomina sedimentos de areia muito fina, com 66,7%, há somente 11,1% de lama e, 22,2% de areia fina. No meio do canal, há predominância de areia fina (76,5%). A areia muito fina corresponde a apenas 23,5% dos sedimentos. Com relação aos sedimentos da margem esquerda, destaca-se areia muito fina (57,2%), sobre a areia fina, com apenas 35,7% e, lama (7,1%).

Gráfico 53 – Histograma de ocorrência do diâmetro médio da granulometria dos sedimentos do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



LEGENDA

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1- mD: margem Direita | 4- AF: areia fina |
| 2- M: Meio | 5- AMF: areia muito fina |
| 3- mE: margem Esquerda | 6- L: lama |

Fonte. Costa (dez/2017)

Valendo-se dos percentuais exibidos, infere-se característica de maior energia nos pontos (1, 4, 6, 7, 10, 13, 16, 19, 25, 28, 31, 34, 35, 36, 42, e 47), constatado pela categoria sedimentar, em areia fina, maior grão encontrado na área estudada. E de menor energia nos pontos (3, 11, 12, 14, 24, 26, 32, 38, e 44), por serem lama. Ressaltando que a parte do rio com maior energia está no meio do canal verificado pela maior presença de areia fina. Considerando que Quinamo (2013), destaca que quanto maior a energia, maior será o tamanho das partículas sedimentares.

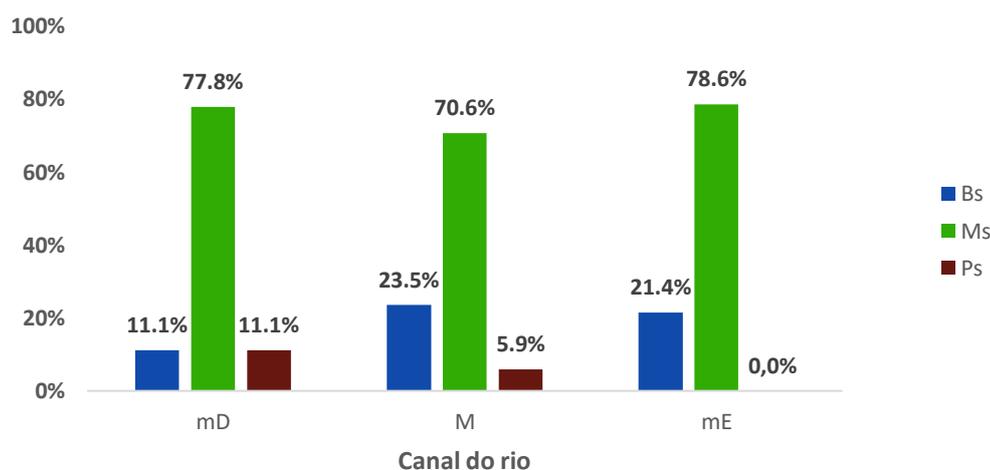
- Mediana

Para a distribuição dos limites de Desvio Padrão (mediana) granulométricos, segue a classificação de Folk e Ward (1957). A classificação dos sedimentos da mediana a partir de uma tendência central ocorre predominantemente, bem selecionado, moderadamente selecionado e pobremente selecionado. Segundo Motta *et al* (2017), os sedimentos bem selecionados possuem características mais homogêneas em relação aos pobremente selecionados.

Conforme o gráfico 54, no canal do rio no trecho estudado, predomina sedimentos moderadamente selecionados, na margem direita 77,8%, margem esquerda com 70,6% e meio com 78,6%. Na margem direita os sedimentos bem selecionados e pobremente selecionados correspondem a 11,1% cada. No meio do canal, os sedimentos pobremente selecionados representam apenas 5,9%, e os bem selecionados representam 23,5%. Na margem esquerda não há sedimentos pobremente selecionados, porém, 21,4% dos sedimentos analisados são bem selecionados.

Os resultados apontam que a maior percentagem corresponde aos sedimentos moderadamente selecionados (75,5%), e os menores correspondem aos pobremente selecionado (6,1%). E os bem selecionados encontram-se no valor de (18,4%).

Gráfico 54 – Histograma de ocorrência de mediana da granulometria dos sedimentos do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



LEGENDA

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| 1- mD: margem Direita | 4- Bs: Bem selecionados |
| 2- M: Meio | 5- Ms: Moderadamente selecionados |
| 3- mE: margem Esquerda | 6- Ps: Pobremente selecionados |

Fonte. Costa (dez/2017)

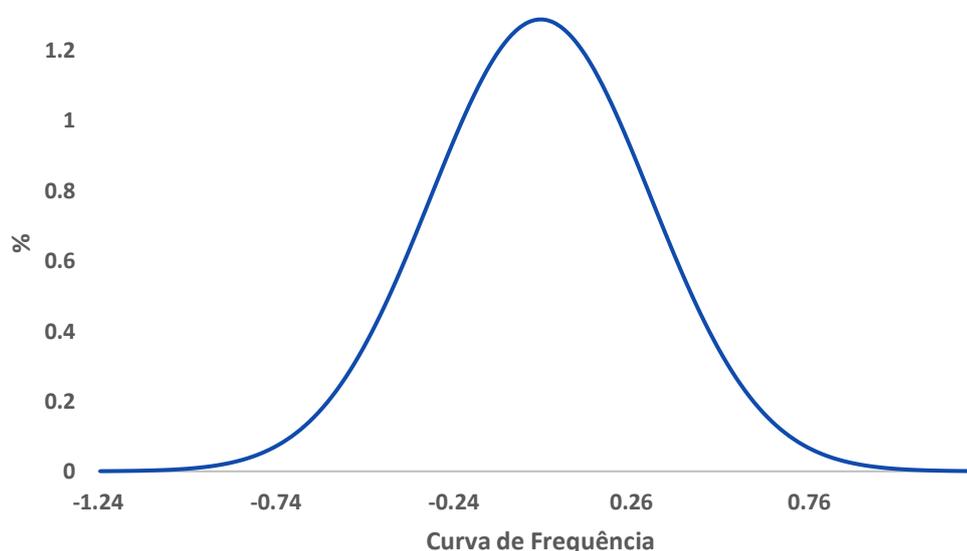
- Assimetria

Folk e Ward (1957), explica que a assimetria negativa representa valores de sedimentos mais grossos, enquanto, que os sedimentos mais finos são indicados pela assimetria positiva, a primeira sugere uma área de alta energia, e a segunda, sugere uma área de baixa energia.

Para entendimento da assimetria dos sedimentos do canal do rio, nos pontos estudados, disponibilizou cinco frações (MN - Muito Negativa; N - Negativa; MP - Muito Positiva; P - Positiva; AS - Aproximadamente Simétrica). Barbosa (2006), explica que a assimetria expressa o grau de afastamento do diâmetro médio da mediana, assumindo valores positivos ou negativos ao se dispersar de um ou outro lado da média.

Nesse estudo, a curva de frequência simples (gráfico 55), demonstra um grau de relação aparentemente simétrica, destacando que os valores da média e mediana são praticamente iguais em todos os pontos estudados.

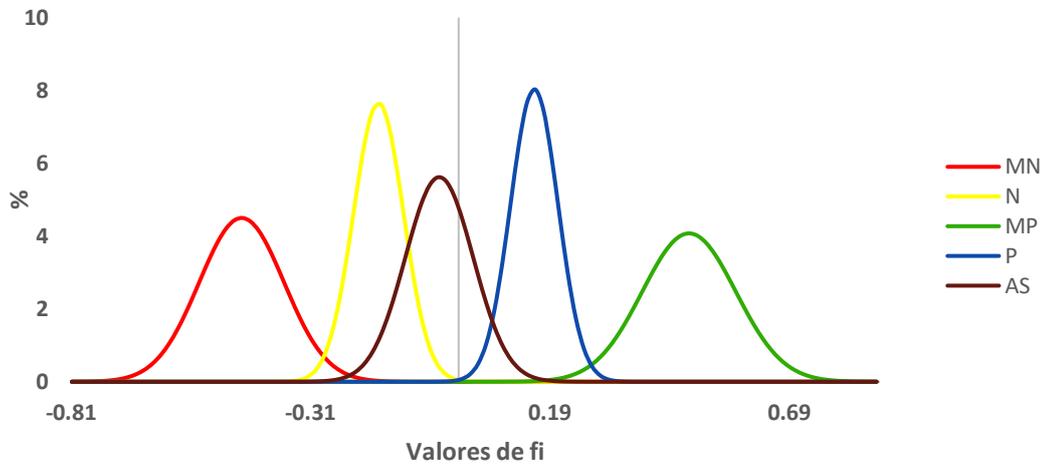
Gráfico 55 – Curva de frequência simples com distribuição simétrica: média e mediana são iguais, na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

Na margem esquerda do rio as curvas negativas e positivas são predominantes. Observa-se que há angulosidade diferenciada com relação às curvas muito negativa, muito positiva e aproximadamente simétrica, (GRÁFICO 56).

Gráfico 56 – Assimetria em conjunto de dados com as curvas muito negativa, negativa, muito positiva, positiva e aproximadamente simétrica

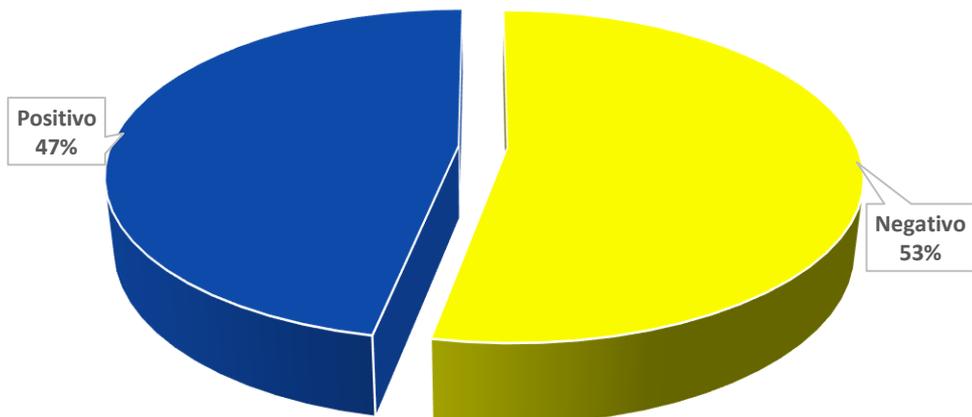


LEGENDA	
1- MN: Muito negativa	4- P: Positiva
2- N: Negativa	5- AS: Aproximadamente simétrica
3- MP: Muito Positiva	

Fonte. Costa (dez/2017)

O percentual referente a assimetria positiva 53,10%, distribui-se principalmente a jusante do canal do Rio Parnaíba, no trecho urbano de Teresina. A parcela da assimetria negativa (46,90%), está distribuída a partir da montante à metade do rio, no trecho urbano da cidade (GRÁFICO 57).

Gráfico 57 – Distribuição granulométrica percentual do grau de assimetria, na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI

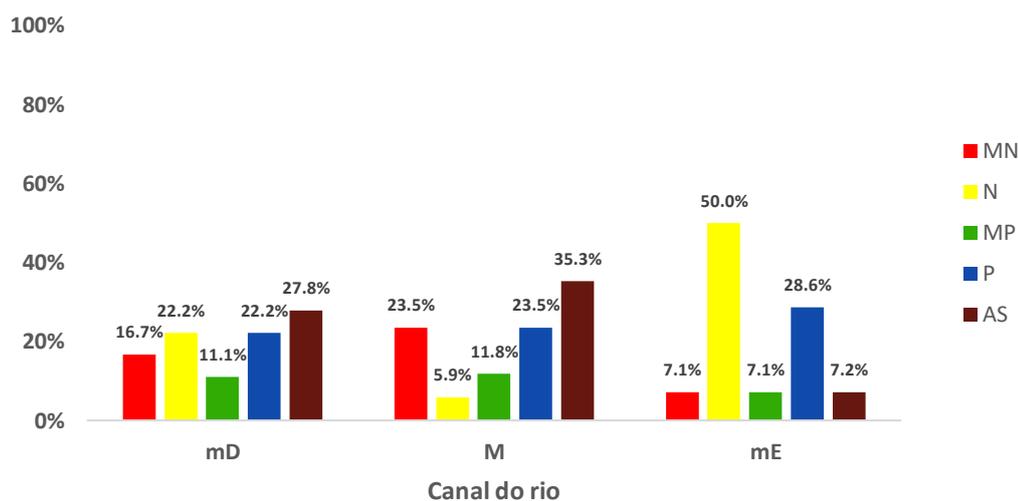


Fonte. Costa (dez/2017)

A classificação dos sedimentos verificadas isoladamente nas partes do canal têm-se assimetria para quase todas as categorias (GRÁFICO 58). A margem direita apresenta valores de: (16,7%) muito negativa, (22,2%) negativa, (11,1%) muito positiva, (22,2%) positiva e (27,8%) aproximadamente simétrica. O meio do canal apresenta valores de: (23,5%) muito negativa, (5,9%) negativa, (11,8%) muito positiva, (23,5%) positiva e (35,3%) aproximadamente simétrica. E na margem esquerda têm-se: (7,1%) muito negativa, (50,0%) negativa, (7,1%) muito positiva, (28,6%) positiva e (7,2%) aproximadamente simétrica.

verifica-se em análise comparativa, que tanto a margem direita quanto o meio do canal há uma distribuição de sedimentos considerada simétrica. No entanto, na margem esquerda 50% dos sedimentos têm assimetria negativa.

Gráfico 58 – Histograma de distribuição espacial do intervalo de assimetria segundo percentual, na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



LEGENDA

- | | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1- mD: margem Direita | 4- MN: Muito Negativa | 7- P: Positiva |
| 2- M: Meio | 5- N: Negativa | 8- AS: Aproximadamente simétrica |
| 3- mE: margem Esquerda | 6- MP: Muito Positiva | |

Fonte. Costa (dez/2017)

Observa-se os processos de erosão e sedimentação, apontada através dos valores de assimetria. Dentre os valores, o muito negativo e negativo caracteriza os pontos de erosão do rio (1, 2, 7, 9, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 30, 33, 36, 38, 40, 41 e 48). Em relação a sedimentação, os pontos em que há classificação sedimentar muito positiva e positiva, localizam-se em áreas em processo de sedimentação, são os pontos (3, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 19, 20, 28, 32, 34, 35, 37, 39, 42, 43, 45, 46, 47 e 49).

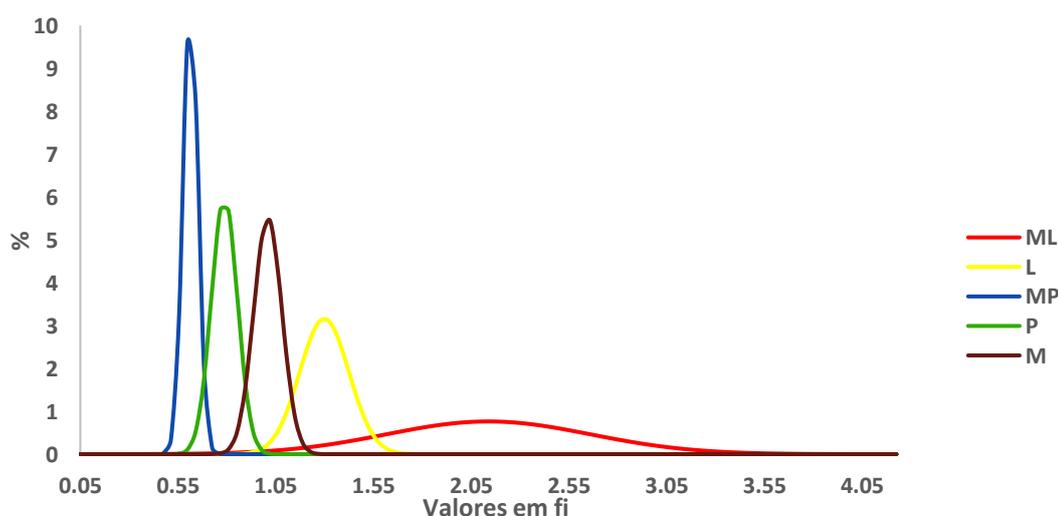
- Curtose

“A curtose das amostras, é a medida do grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência” (SUGUIO, 1973). segundo o mesmo autor, a maior parte das medidas de curtose avalia a relação entre as dispersões (espalhamento) na parte central e nas caudas das curvas.

Vinculado aos sedimentos das amostras, sendo uma curva normal, as distribuições do gráfico 59, se classificam como: muito leptocúrtica, leptocúrtica, muito platicúrtica, platicúrtica e mesocúrtica. Todavia, a curva muito platicúrtica caracteriza-se com um pico bastante agudo e a cauda muito espalhada. Para Barbosa (2006), distribuições platicúrticas podem indicar uma baixa movimentação. Ponçano (1986), também destaca que as distribuições platicúrticas ocorrem em ambiente menos energéticos.

A curva leptocúrtica constitui-se de uma longa cauda com achatamento no topo. Para Silva (2008), as amostras que apresentam curvas leptocúrticas, possivelmente aponta remoção de uma fração dos sedimentos por meio de correntes de fundo. A ausência de espalhamento desses sedimentos nas curvas leptocúrticas apontam para sedimentos bem selecionados na parte central da distribuição. No entanto, o espalhamento dos sedimentos na curva muito leptocúrtica indica que eles são maus selecionados (SUGUIO, 1973) .

Gráfico 59 – Curva normal associada ao achatamento da distribuição, com comparações entre as curvas muito leptocúrtica, leptocúrtica, muito platicúrtica, platicúrtica e mesocúrtica



LEGENDA

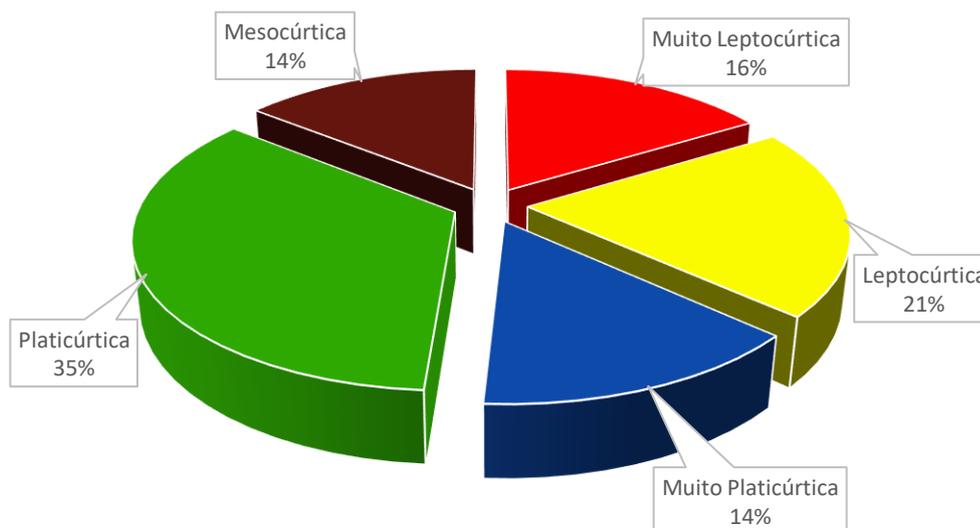
- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1- ML: Muito Leptocúrtica | 4- P: Platicúrtica |
| 2- L: Leptocúrtica | 5- M: Mesocúrtica |
| 3- MP: Muito Platicúrtica | |

Fonte. Costa (dez/2017)

Os resultados do gráfico 60, confirma os valores em percentual das curvas de distribuição granulométrica, correspondente aos valores de muito leptocúrtica (16,3%), leptocúrtica (20,4%), muito platicúrtica (14,3%), platicúrtica (34,7%) e mesocúrtica (14,3%).

Todas as curvas destacadas classificam os sedimentos como bem ou maus selecionados.

Gráfico 60 – Distribuição granulométrica percentual da curtose na calha do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina-PI



Fonte. Costa (dez/2017)

A magnitude da energia das características do rio, é identificada nas análises das amostras com áreas de muito alta energia estando nos pontos com características muito leptocúrtica P (1, 2, 4, 6, 19, 20, 21 e 39). Áreas com alta energia classificadas como leptocúrtica, estão nos pontos P (3, 5, 14, 18, 26, 29, 32, 40, 42 e 44).

Relacionada a área de energia moderada, as características estão nos pontos classificados como mesocúrtica, em P (10, 24, 35, 38, 41, 47 e 48).

Em relação as áreas com muito baixa energia, deve-se ressaltar as análises classificadas em muito platicúrtica, nos pontos P (7, 22, 25, 28, 33, 34 e 36). E as áreas de baixa energia classificadas como platicúrtica, estão nos pontos P (8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 23, 27, 30, 31, 37, 43, 45, 46 e 49).

4.4.2 Análise morfoscópica

Conforme Suguio (1973), a composição mineralógica gera importante base para a classificação das rochas sedimentares, estando o quartzo dentre os minerais mais comuns e mais

abundante, do qual compõem mais de 10% da rocha, encontrando-se dentre os minerais detríticos, consistindo em partículas quebradas ou que sofreram abrasão e que foram levadas até o sítio de deposição por processos mecânicos.

De acordo com Tucker (1989), os arenitos com pelo menos 95% de grãos de quartzo são os mais maduros em termos de composição de todos. Além disso, frequentemente consistem em grãos bem classificados, de modo que a maturidade da textura também é muito alta.

Por sua vez, para a classificação dos grãos da área estudada, através das análises das amostras, verifica-se a ocorrência de 90% e 95% de quartzo nos sedimentos, e cerca de 5% a 10% de minerais pesados.

Tendo em vista, o arredondamento dos grãos de areia considera-se a classificação segundo Russell e Taylor (1937), Pettijohn (1957) e Müller (1967). Tais classificações somam-se, culminando com um esquema do grau de arredondamento dos grão, produzido por Suguio (1973).

Todavia apenas duas categorias são encontradas nas análises das amostras, especificamente o grau sub-angular e grau sub-arredondado.

De acordo com os resultados do esquema desenvolvido por Suguio (1973), onde o grão sub-angular tem um grau de arredondamento entre a 0,15 e 0,25 mm, sendo possível identificar os efeitos do retrabalhamento, possuem suas formas originais e as faces permanecem virtualmente intocadas, ocorrendo inicialmente desgaste dos cantos, suas reentrâncias maiores estão ainda preservadas, mas as pequenas são lisas e em menor número. O grão sub-arredondado, tem arredondamento entre 0,25 e 0,40, já tem um retrabalhamento considerável, com cantos bem arredondados e uma redução considerável na área das faces originais, porém a forma original do grão ainda permanece distinta, com as grandes reentrâncias fracamente definidas e as pequenas em menor número e suavemente arredondadas.

- Quartzo (SiO_2)

Fazendo parte do grupo dos silicatos, o quartzo é um mineral de propriedade física hexagonal, ou seja, com três eixos com ângulos de 120° arranjados num plano e um quarto eixo formando ângulo reto 90° , geralmente é incolor, sendo uma das variedades, o cristal de rocha – hialino (transparente) (POPP, 2013).

O quartzo fumê ou enfumaçado é outra variedade, apresenta coloração cinzento-escura a quase preta ou marrom-clara a escura pela exposição à radioatividade natural, que ocorre em cristais transparentes a quase opacos (PAGNAN, 2016).

Devido as características físicas do quartzo, identifica-se no grão sua ligação às atividades de retrabalhamento, são relações anômalas de arredondamento e granulometria. O arredondamento indica um bom índice de maturidade de um sedimento, o grau de arredondamento, aumenta com a duração do transporte e retrabalhamento (BARROS *et al.*, 2007).

- Minerais pesados

Sousa *et al.* (2017), destaca que os depósitos de minerais pesados originam-se quando as rochas da superfície da Terra sofrem a ação do intemperismo, alterando-as a partir de desagregação física e decomposição química, liberando seus constituintes minerais ao transporte pelos agentes superficiais, como rios, ventos, águas pluviais, gelo e ação da gravidade.

Segundo Förstner & Wittmann (1983), os metais pesados são transportados para os sedimentos pela lixiviação ocasionada nos continentes, principalmente como espécies adsorvidas ou co-precipitadas nas películas dos óxidos e hidróxidos e matéria orgânica, e com a redução dos oxi-hidróxidos de ferro e manganês os quais são depositados nos sistemas aquáticos.

Para Mange & Wright (2007), os depósitos de minerais pesados instituem-se como excelentes arquivos que gravam e preservam as assinaturas dos eventos geológicos do passado desde a sua origem até o ambiente deposicional atual.

4.4.2.1 Caracterização morfooscópica por amostragem encontrado no estudo

Os grãos de areia analisados da área de estudo atingem um certo brilho, uma vez que seu polimento foi dado em um processo de dinâmica fluvial. Dias (2004), relaciona o transporte hídrico ao brilho do grão, destacando que seu transporte pela água provoca choques pouco violentos entre partículas, ocasionado pela viscosidade da água, promovendo um polimento muito suave da superfície, dando aos grãos um aspecto brilhante.

Além da mencionada característica, a quantificação percentual dos minerais e sua caracterização constitui-se em importante indicador da composição mineralógica presente no canal do rio, sua medida está representada por amostras enumeradas (QUADRO 23).

Quadro 23 – Caracterização morfoscóptica dos grãos de areia com identificação dos minerais quartzo e metais pesados, no canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina

Amostra	Granulometria (Fração analisada) mm	Grau de arredondamento	Composição mineralógica %	
			Quartzo	Minerais pesados
1	0,125	Sub-arredondado	95	5
2	0,250	Sub-arredondados à sub-angulosos	90	10
3	0,250	Arredondados à sub-arredondados	90	10
4	0,125	Sub-angulosos	95	5
5	0,125	Sub-arredondado	95	5

Fonte: Costa; Santos (2019)

Conforme quadro 23, os grãos sub-arredondados a sub-angulosos são identificados nas amostras analisadas. Destacando as concentrações máxima de quartzo e minerais pesados.

Os grãos de areia da amostra 1 foram coletados na margem direita do canal do rio, a amostra que a fração analisada representa tem granulometria de 0,125 mm, classificada como areia fina (FIGURA 36).

Figura 36 – Amostra 1: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados da margem direita, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina. (Aumento)

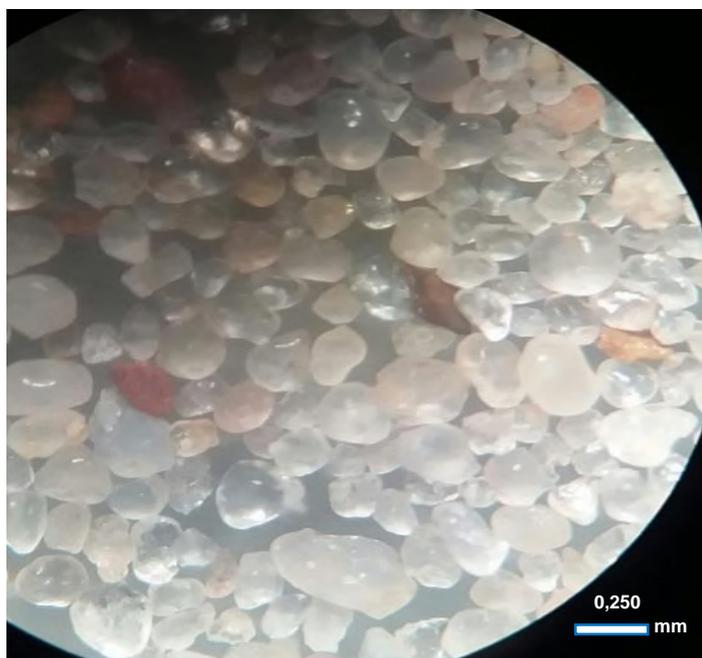


Fonte: Santos (2019)

Sua composição mineralógica compreende 95% Quartzo, parte deste enfumaçado, parte hialino, em alguns casos ainda com matriz oxidada e de forma geral todos com matriz polida evidenciando transporte aquoso e 5% Minerais pesados, opacos e oxidados. Seu grau de arredondamento é caracterizado como sub-arredondados.

A amostra 2 foi coletada no meio do canal, a concentração de areia analisada corresponde ao diâmetro de 0,250 mm, ou seja, areia média (FIGURA 37).

Figura 37 – Amostra 2: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados à sub-angulosos do meio do canal do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina. (Aumento)



Fonte: Santos (2019)

Sua composição mineralógica é de 90% Quartzo hialino, por vezes com matriz oxidada, estes ainda com matriz polida evidenciando o transporte sedimentar via aquoso e 10% de Minerais pesados, opacos estando em sua grande maioria oxidados. O grau de arredondamento desta fração se caracteriza como sub-arredondados à sub-angulosos.

A amostra 3, também foi coletada no meio do canal do rio, a fração analisada é de valor 0,250 mm, a amostra analisada caracteriza-se como areia média (FIGURA 38).

Sua composição mineralógica é representada por 90% Quartzo hialino, com matriz polida pela abrasão da água, caracterizando assim um transporte sedimentar por meio aquoso e 10% Minerais pesados, sendo estes opacos e em larga escala oxidados. O Grau de arredondamento é classificado como arredondados à sub-arredondados.

Figura 38 – Amostra 3: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados do ponto de coleta 28, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina. (Aumento)



Fonte: Santos (2019)

Na amostra 4, é apresentado os grãos de areias coletadas no meio do canal do rio, cujo diâmetro médio é classificado em areia fina com 0,125 mm (FIGURA 39).

Figura 39 – Amostra 4: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-angulosos do ponto de coleta 47, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina. (Aumento)



Fonte: Santos (2019)

Destaca-se com uma composição mineralógica de 95% de Quartzo hialino grãos oxidados com matriz polida pela abrasão da água e 5% de Minerais pesados, opacos e oxidados. O grau de arredondamento dos grãos se caracteriza com sub-angulosos.

Observa-se através da amostra 5, grãos de areia coletados na margem direita do canal do rio, cuja fração granulométrica é caracterizada com 0,125 mm, ou seja, para essa descrição foi analisada areia fina (FIGURA 40).

Figura 40 – Amostra 5: Fotomicrografia mostrando o grau de arredondamento dos grãos de areia sub-arredondados à sub-angulosos do ponto de coleta 49, do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina. (Aumento)



Fonte: Santos (2019)

A composição mineralógica dos grãos é 95% de Quartzo hialino, estando pequena parte com matriz oxidada, e com matriz polida demonstrando a abrasão feito pelo transporte aquoso e 5% Minerais pesados estando apresentando estes na sua grande maioria níveis de oxidação. O grau de arredondamento dos grãos está caracterizado em sub-arredondados.

4.4.3 Considerações parciais

Das quarenta e nove (49) análises granulométricas, tem-se o predomínio da fração areia, 76,4% das amostras, sobre a lama, cerca de 23,3%. A fração cascalho tem pequena frequência de apenas 0,3% das amostras

Com relação ao diâmetro médio dos sedimentos, destaca-se areai muito fina predominando em todo o canal.

Para efeito de caracterização dos minerais encontrados na área de estudo, destaca-se o quartzo, com ocorrência entre 90% e 95% nas amostras e, minerais pesados com ocorrência entre 5% e 10%.

Embora os minerais pesados possam ser transportados pela descarga fluvial ou mesmo sofrer processo de deposição e ficar estagnado aumentando o pacote no canal, sua evidência deve ser considerada relevante.

4.5 BATIMETRIA DO RIO PARNAÍBA

A prospecção geofísica é uma ferramenta com diferentes métodos investigativo para obter dados inacessíveis pelos métodos comuns. Fernandes (1984), diz que há vários métodos de prospecção Geofísica. Neste contexto, procurou-se trabalhar com o método batimétrico por sondagem e imageamento, cujo objetivo é desenvolver estudos de batimetria do Rio Parnaíba no trecho urbano do Município de Teresina-PI, para descrever a configuração do relevo de fundo. Para Silva (2008), a importância da aplicação de métodos geofísicos, para adquirir informações, está no desenvolvimento das pesquisas e na obtenção dos dados.

A batimetria é uma ferramenta que permite a identificação de características geológicas e geotécnicas da superfície de fundo podendo calcular espessura da coluna d'água e da coluna sedimentar, profundidade do embasamento rochoso etc. (SOUSA, *et. al.*, 2010). Diante disto, este capítulo apresenta as características de fundo do Rio Parnaíba verificadas através de estudos batimétricos.

4.5.1 Introdução a descrição batimétrica

O levantamento batimétrico feito em 2017, no canal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina foi constituída por vinte e oito seções com vários perfis de sondagem transversais: Seção Plataforma de Coleta de Dados – PCD; Seção Ponte Tabuleta; Seção Gil Martins; Seção Valter Alencar; Seção Prainha; Seção Centro Administrativo; Seção Balão da CEPISA; Seção Ponte da Amizade; Seção Troca-Troca; Seção Ponte Metálica; Seção Iate Clube; Seção Universidade Estadual - UE; Seção Estação de Tratamento de Esgoto – ETE THE; Seção Academia Melhor Idade - AMI; Seção Monumento Direito Humano - MDH, Seção Lagoas do Norte, Seção Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Timon, Seção Horta, Seção Bar do Velhinho, Seção Encontro dos Rios, Seção Barra das Pombas, Seção Sede Agrícola, Seção Santa Rosa, Seção Parque Brasil, Seção Curva Poti, Seção Beira Rio, Seção Porto e Seção Fazenda São Gonçalo. Para cada seção longitudinal atribui-se um nome de identificação de acordo com o ponto de referência da batimetria (QUADRO 24).

Não há uma distância fixa entre os perfis, igualmente, não há uma quantidade fixa de perfis de sondagem transversais nas seções.

Quadro 24 – Localização e profundidade das seções batimétrica no canal do Rio Parnaíba

Seções	Local/ Bairro	Largura da seção /m	Margem Direita		Margem Esquerda	
			Profundidade (m)	Coordenadas Geográficas UTM	Profundidade (m)	Coordenadas Geográficas UTM
PCD (Plataforma de coleta de dados)	Saci	249,8255	-0,70	N 9431607,11 E 742751,48	-2,97	N 9431377,78 E 742501,66
TABULETA	Santa Luzia	245,0249	-4,24	N 9432484,01 E 742467,89	0,17	N 9432425,09 E 742222,86
GIL MARTINS	São Pedro	323,2052	0,07	N 9433238,23 E 742312,11	0,10	N 9433190,86 E 741988,91
VALTER ALENCAR	São Pedro	357,8559	0,44	N 9433832,30 E 742242,60	-1,73	N 9433788,18 E 741884,75
PRAINHA	Vermelha	527,10	0,44	N 9434405,88 E 742228,59	-1,73	N 9434401,00 E 741701,49
CENTRO ADM.	Vermelha	479,107	-0,44	N 9434673,82 E 742228,69	-1,73	N 9434736,54 E 741749,58
BALÃO DA CEPISA	Centro	431,1064	-0,91	N 9435710,29 E 742214,79	-3,36	N 9435572,10 E 741783,68
PONTE DA AMIZADE	Centro	387,8933	-3,07	N 9436283,01 E 742046,98	0,97	N 9436086,97 E 741659,08
TORCA-TROCA	Centro	313,8993	-1,00	N 9436631,95 E 741842,78	0,58	N 9436435,32 E 741528,88
PONTE METÁLICA	Matinha	176,9101	0,05	N 9437414,41 E 741248,47	-0,41	N 9437198,36 E 741071,56
IATE CLUBE	Matinha	206,0355	-0,53	N 9437841,29 E 740868,69	-2,44	N 9437625,64 E 740662,66
UE (Universidade Estadual)	Pirajá	353,7560	0,12	N 9438305,39 E 740546,16	-1,73	N 9438068,73 E 740192,41
ETE-THE (Estação de Tratamento de Esgotos)	Acarape	387,08	0,02	N 9438783,34 E 740281,67	0,02	N 9438648,44 E 739894,59
AMI (Academia Melhor Idade)	Matadouro	304,41	0,55	N 9439287,25 E 739931,95	-0,16	N 9439173,12 E 739627,57
MDH (Monumento Direitos Humanos)	Matadouro	362,37	0,47	N 9439828,68 E 739739,03	-0,08	N 9439761,85 E 739376,66
LAGOAS DO NORTE	Matadouro	328,9213	-2,60	N 9440121,51 E 739632,48	-0,85	N 9440076,19 E 739303,56

ETE-TIMON (Estação de Tratamento de Esgotos)	São Joaquim	332,6946	-1,72	N 9440286,76 E 739590,55	-3,19	N 9440237,61 E 739257,85
HORTA	São Joaquim	623,0314	0,06	N 9441434,95 E 739670,56	-0,85	N 9441411,25 E 739047,53
BAR DO VELHINHO	Olarias	472,4459	-2,86	N 9442144,55 E 739447,20	-2,52	N 442146,417 E 738963,3888
ENCONTRO DOS RIOS	Olarias	669,5438	-4,92	N 9442818,11 E 739579,34	-0,97	N 442705,119 E 738904,5763
BARRA DAS POMBAS	Santa Rosa	708,2151	-0,83	N 9443432,44 E 739597,19	-1,27	N 9443306,21 E 738888,97
SEDE AGRÍCOLA	Santa Rosa	587	-0,10	N 9444000,42 E 739403,00	-0,19	N 9443897,00 E 738816,00
SANTA ROSA	Santa Rosa	584,84	-0,01	N 9444547,8 E 739220,12	0,01	N 9444464,07 E 738635,0
PARQUE BRASIL	Parque Brasil	483,54	0,00	N 9445145,44 E 738960,64	-0,01	N 9445028,92 E 738477,1
CURVA POTI	Parque Brasil	708,2151	0,01	N 9445757,91 E 738716,32	0,01	N 9445566,15 E 738230,58
BEIRA RIO	Parque Brasil	708,2151	-0,83	N 9443432,44 E 739597,19	-1,27	N 9443306,21 E 738888,97
PORTO	Parque Brasil	708,2151	-0,83	N 9443432,44 E 739597,19	-1,27	N 9443306,21 E 738888,97
FAZ. SÃO GONÇALO	Santa Maria	383,4276	-2,68	N 9447241,31 E 738016,26	-0,78	N 9447135,77 E 737632,83

Org. Costa, (2018). Base de dados: Prefeitura municipal de Teresina (out./nov. 2017)

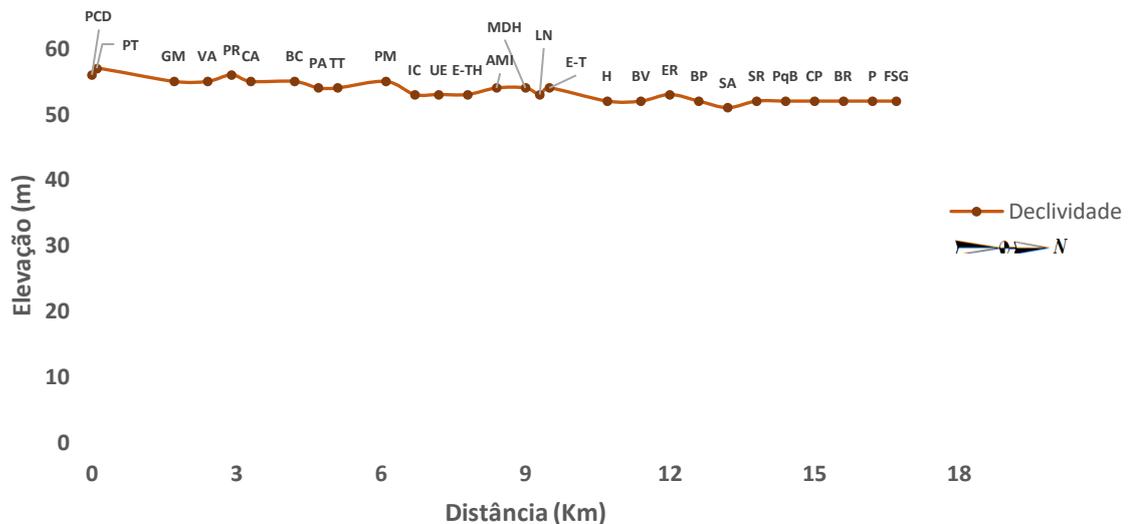
De acordo com Alencar (2010), o estudo batimétrico e sua ligação com a granulometria dos sedimentos de fundo possibilita fazer interferências hidrodinâmicas locais, caracterizando os ambientes. Assim, pode-se dizer, baseado na profundidade da calha do rio e no tamanho dos sedimentos que é viável tomar decisões sobre a política de uso e manejo do canal.

O canal do rio apresenta uma largura diferenciada em seu percurso, ou seja, no trecho estudado, os valores variam de 176,9 metros (Ponte Metálica) a 708,2 metros (Barra das Pombas). Sua largura aumenta a cerca de mil seiscentos e cinquenta e quatro (1.654) metros a montante do encontro do Rio Poti com o Rio Parnaíba, a partir da seção batimétrica Horta, indo a aproximadamente três mil, setecentos e trinta e cinco (3.735) metros a jusante do referido encontro dos rios, na seção batimétrica Porto.

A profundidade do canal do rio no trecho estudado varia de -0,01 metros, nas seções batimétricas (Sede Agrícola, Santa Rosa, Parque Brasil, Curva do Poti, Beira Rio e Porto), a -13,06 metros na seção batimétrica Fazenda São Gonçalo.

Considerando o perfil longitudinal do Rio Parnaíba no trecho estudado (Gráfico 61), tendo como base o nível do mar, sua declividade tem uma média variando entre 1% a -1%.

Gráfico 61 – Identificação das seções de batimetria ao longo do perfil latitudinal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina, no período seco de 2017



Legenda

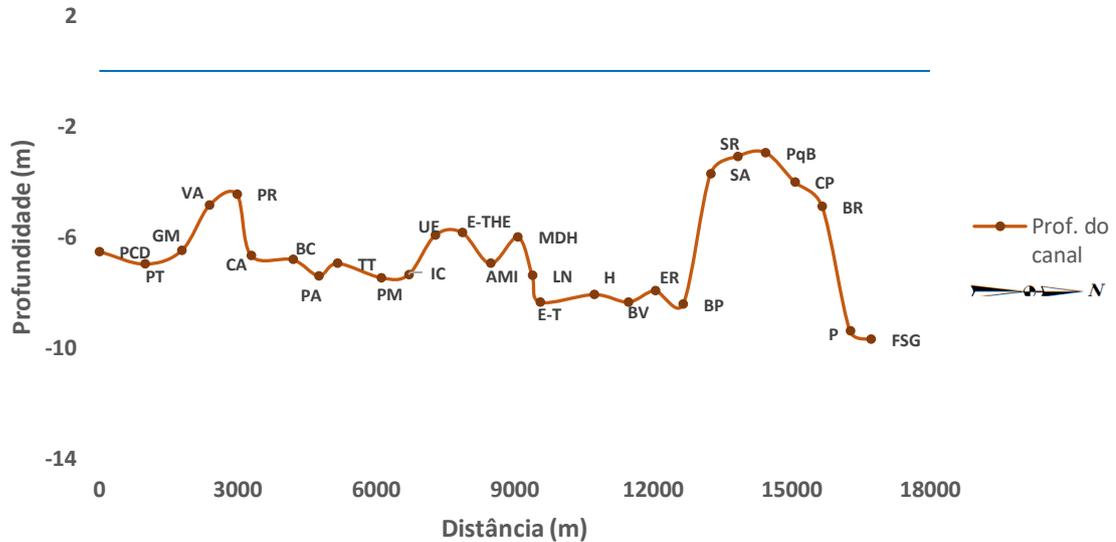
PCD- Plat. de Coleta de Dados	IC- Iate Clube	ER- Encontro dos Rios
PT- Ponte da Tabuleta	UE- Universidade Estadual	BP- Barra das Pombas
GM- Gil Martins	ETE-THE- Est. de Tratamento de Esgoto	SA- Sede Agrícola
VA- Valter Alencar	AMI- Academia Melhor Idade	SR- Santa Rosa
Pr- Prainha	MDH- Monumento Direitos Humanos	PB- Parque Brasil
CA- Centro Administrativo	LN- Lagoas do Norte	CP- Curva Poti
BC- Balão da CEPISA	ETE-T- Est. de Tratamento de Esgoto	BR- Beira Rio
PA- Ponte da Amizade	H- Horta	P- Porto
TT- Troca-Troca	BV- Bar do Velhinho	FSG- Fazenda São Gonçalo
PM- Ponte Metálica		

Org. Costa, (2018). Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2017)

O rio tem um decréscimo de elevação em direção norte de -8,05%. A área mais baixa está em um nível de 52 metros e a parte de maior altitude está a 57 metros com relação ao nível do mar.

O perfil do canal (gráfico 62), é representado por um descompasso no relevo, se apresentando como uma dinâmica de elevações, refletindo-se com desníveis de relevo acentuado, ora emerso, ora submerso em direção a jusante em todo o segmento do trecho estudado.

Gráfico 62 – Identificação das seções de altimetria/batimetria dos depósitos aluviais ao longo do perfil latitudinal do Rio Parnaíba no trecho urano de Teresina, no período seco de 2017



Legenda

PCD- Plat. de Coleta de Dados	IC- Iate Clube	ER- Encontro dos Rios
PT- Ponte da Tabuleta	UE- Universidade Estadual	BP- Barra das Pombas
GM- Gil Martins	ETE-THE- Est. de Tratamento de Esgoto	SA- Sede Agrícola
VA- Valter Alencar	AMI- Academia Melhor Idade	SR- Santa Rosa
Pr- Prainha	MDH- Monumento Direitos Humanos	PB- Parque Brasil
CA- Centro Administrativo	LN- Lagoas do Norte	CP- Curva Poti
BC- Balão da CEPISA	ETE-T- Est. de Tratamento de Esgoto	BR- Beira Rio
PA- Ponte da Amizade	H- Horta	P- Porto
TT- Troca-Troca	BV- Bar do Velhinho	FSG- Fazenda São Gonçalo
PM- Ponte Metálica		

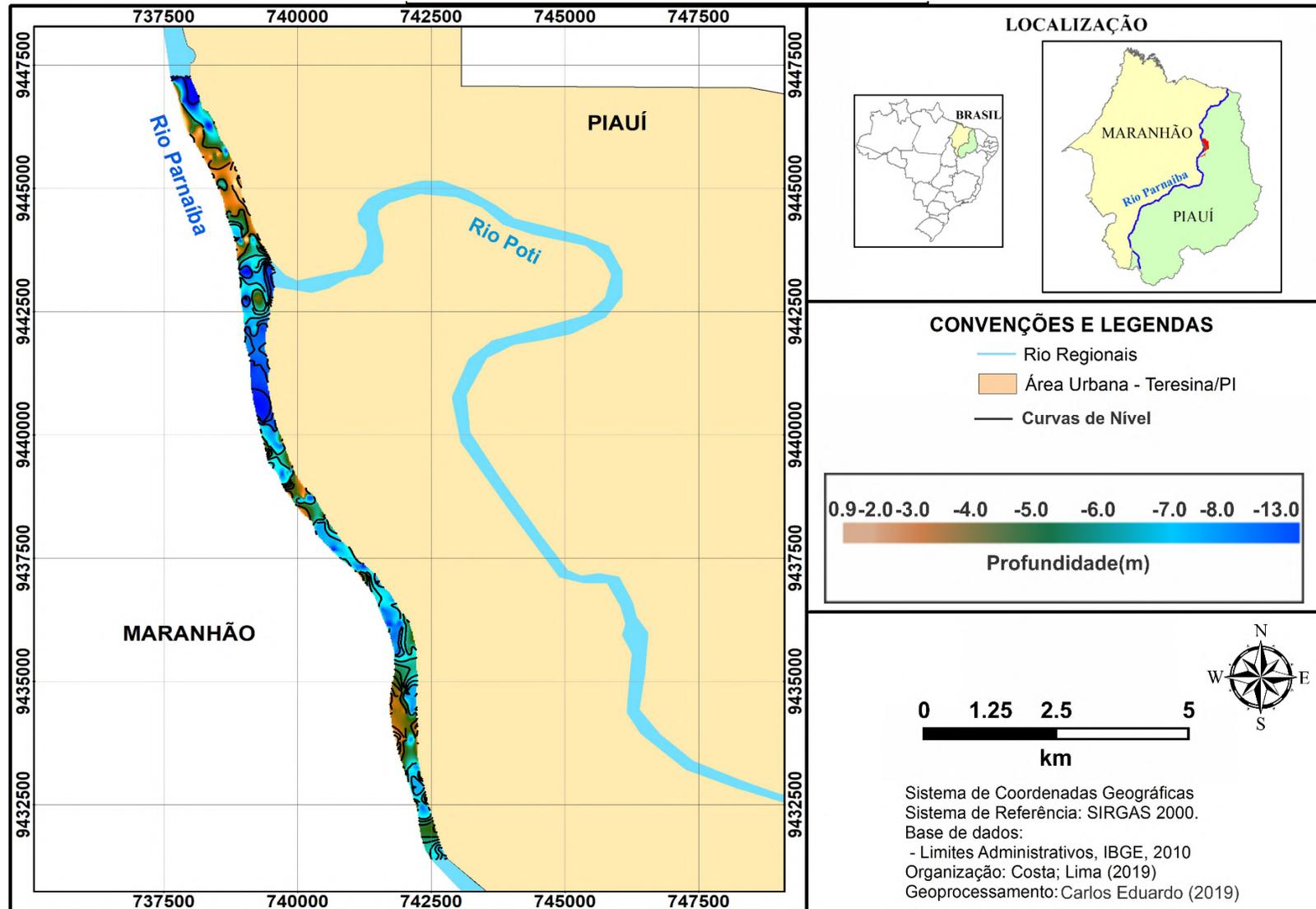
Org. Costa, (2018). .Base de Dados: Google Earth (Imagens de out/2017)

O estudo batimétrico buscou determinar a morfologia do fundo do canal do rio no trecho urbano, verificando em alguns trechos da margem direita batimetria em cotas positivas acima de zero, variando entre 0,02 a 0,44 metros, sendo recoberto por água durante as cheias, fazendo parte do leito maior do rio.

A análise da batimetria inicia a 5.080 metros à jusante da primeira coleta de sedimentos para análise granulométrica indo até a 460 metros a montante da coleta de número 49 (última coleta) de sedimentos.

Através do mapa batimétrico (figura 41), pode-se observar o predomínio de cotas batimétrica entre -2 e -8 metros. As maiores profundidade são encontradas nas laterais do canal, o meio quase sempre obstruído por bancos de sedimentos ou mesmo por pequenas ilhas fluviais. Seis das maiores depressões no canal podem ser explicadas pelo resultado de atividade de dragagem próximo às seções batimétricas.

Figura 41 – Mapa batimétrico do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina



Fonte : Costa; LIMA (2019)

- Seção Batimétrica Plataforma de Coleta de Dados – PCD

A seção batimétrica PCD, feita no Bairro Saci, zona sul, está a cerca de 6 quilômetros distante do início da área urbana de Teresina. Neste trecho o rio apresenta uma largura de 249,8 metros, não havendo bancos de sedimentos emerso.

Através da figura 42, visualiza-se a margem esquerda do rio, identificando a área com mata ciliar.

Figura 42 – Fotografia da seção batimétrica PCD , Bairro Saci. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



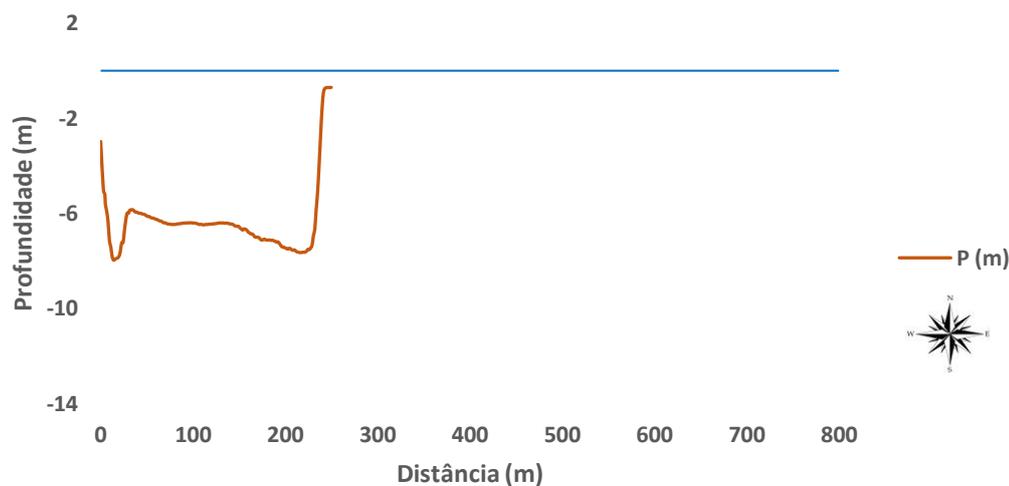
Fonte: Costa (set/2019)

Neste segmento foram feitos 165 perfis batimétricos (gráfico 63), possibilitando o imageamento longitudinal do canal do rio, verificando uma profundidade média de -6,5 metros.

É possível verificar nas proximidades das margens (direita e esquerda) pequenas depressões, com cotas de -7,51 e -7,96 metros, respectivamente, sendo a última, de maior profundidade deste trecho.

Vale destacar a presença de atividade de dragagem a cerca de 200 metros a jusante da referida seção batimétrica, na margem esquerda do rio, o que pode conferir uma área mais profunda neste trecho.

Gráfico 63 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção PCD, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

A 618,6 metros a montante desta seção, no meio do canal, têm-se sedimentos cuja caracterização é verificada como areia fina. E a cerca de 157,8 e 292 metros a jusante, margem direita e margem esquerda, respectivamente, a classificação dos sedimentos está como silte grosso, ou seja, a maior quantidade de sedimentos existentes nas amostras tem uma composição de lama.

- Seção Batimétrica Ponte Tabuleta

Para definição da profundidade desta área, foi executado uma nova seção batimétrica - Ponte da Tabuleta, com extensão longitudinal de 265,2 metros. Localizada próximo a ponte de mesmo nome (também conhecida como Ponte Nova), não apresenta bancos de sedimentos emersos, tornando mais propício a visibilidade da margem esquerda a partir da margem direita do rio (FIGURA 43).

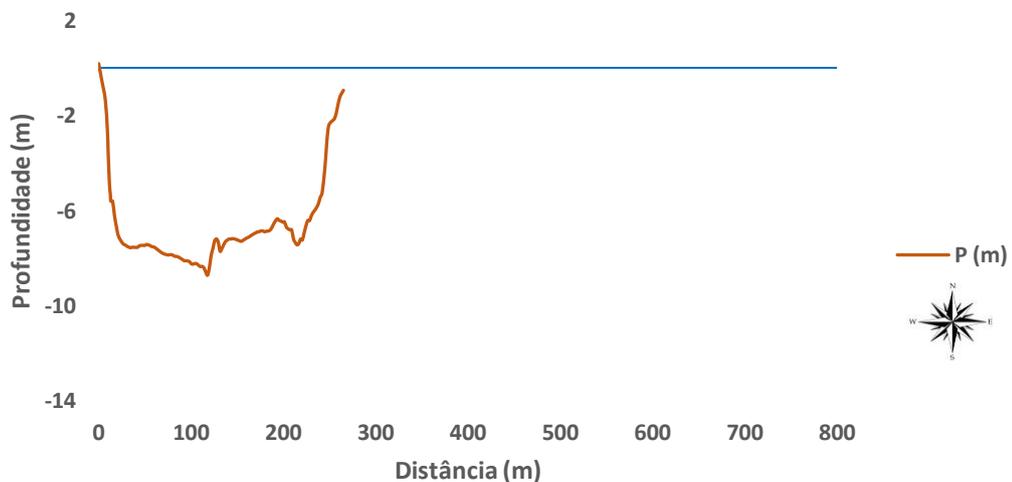
Figura 43 – Fotografia da seção batimétrica Ponte da Tabuleta no Bairro Tabuleta.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

A profundidade média deste trecho do canal é -6,8 metros, do qual varia entre -0,5 metros a -8,7 metros. Neste segmento foram feitos 130 perfis longitudinais, possibilitando o imageamento do canal do rio, direção Leste-Oeste. A seção é formada por depressões com valores de -8,72 metros e -7,38 metros, sendo as partes mais profundas da referida área (GRÁFICO 64).

Gráfico 64 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Ponte Tabuleta, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

Duas coletas de sedimentos foram feitas neste trecho para análise granulométrica, dos quais estão a cerca de 347 metros, margem direita do rio e 393 metros, na margem esquerda, a jusante da referida seção batimétrica. Ambos se caracterizam com sedimentos diferenciados, sendo o primeiro, areia muito fina e o segundo, silte grosso.

Os sedimentos coletados a cerca de 486 metros a montante, meio do canal, se classificam como areia fina.

- Seção Batimétrica Gil Martins

Localizado a cerca de 816 metros a jusante da ponte da Tabuleta, a referida seção batimétrica- Gil Martins, faz referência à aproximação com a avenida de mesmo nome.

Esta seção encontra-se em uma área com baixa sedimentação emersa, ou seja, o acúmulo de sedimentos tem interferido pouco na mobilidade do fluido, podendo-se dizer, que há baixo acúmulo do mesmo, pouco alterando a paisagem local.

A extensão longitudinal desta parte do canal mede 323,2 metros. A figura 44 demonstra a visibilidade da calha do rio, sentido Leste-Oeste, com margem esquerda florestada.

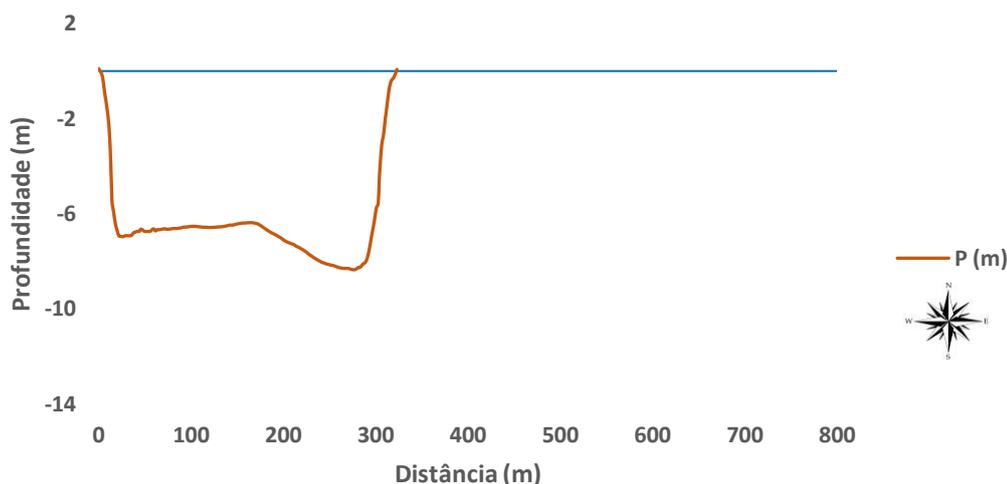
Figura 44 – Fotografia da seção batimétrica Gil Martins no Bairro São Pedro.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

Sua largura corresponde a um plano com uma pequena concavidade para direita. Sua profundidade é definida através de medidas de perfis batimétricos, com uma média de 6,6 metros e uma profundidade máxima de 8,3 metros próximo a margem direita do canal, sua profundidade mínima é -0,19, na margem esquerda (GRÁFICO 65).

Gráfico 65 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Gil Martins, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

Próximo a esta seção têm-se uma análise de sedimentos com características granulométricas de areia fina.

Apesar de não haver bancos de sedimentos nesta seção batimétrica, é possível visualizar a ocorrência de um depósito emerso de sedimentos entre a mesma e a seção anterior.

- Seção Batimétrica Valter Alencar

A denominação desta seção está relacionada a proximidade com avenida de mesmo nome, localizada no bairro São Pedro.

As características deste ambiente fluvial estão relacionadas ao processo de sedimentação que interfere na passagem das águas, destacando assim, a referida seção batimétrica, com deposição de sedimentos em sua margem esquerda, reduzindo o espaço da passagem do fluxo de água. No entanto, a extensão longitudinal do canal é verificada com 357,85 metros, sendo 146 metros de sedimentos acumulados com desenvolvimento de vegetação (FIGURA 45).

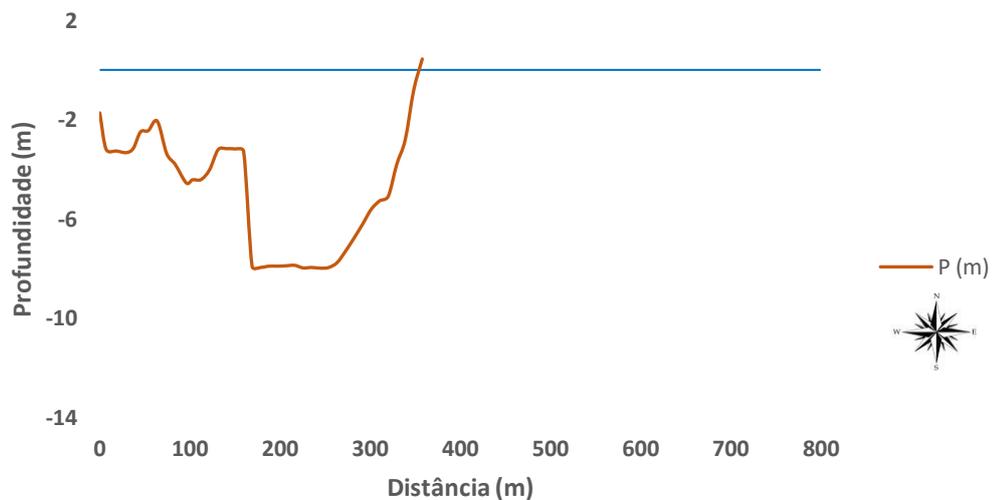
Figura 45 – Fotografia da seção batimétrica Valter Alencar, no Bairro São Pedro.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

A caracterização morfológica desta zona, apresenta-se com irregularidades de profundidade, variando entre -0,80 a -7,98 metros. Sua profundidade média é -4,859 metros. as margens apresentam profundidade de 0,4 e -1,7 metros, direita e esquerda, respectivamente (GRÁFICO 66).

Gráfico 66 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Valter Alencar, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

Através de análise granulométrica, obteve-se dados característicos da sedimentação da área, tendo uma categoria de areia muito fina, em ambas as margens.

- Seção Batimétrica Prainha

Na interface entre a seção batimétrica Valter Alencar e Centro Administrativo, têm-se uma seção com 527 metros de largura, sentido transversal Leste-Oeste, sendo 290 metros com características de terraço fluvial, desenvolvendo vegetação de pequeno porte e, cerca de 237 metros de extensão longitudinal são recobertos por água.

A figura 46, permite uma visualização horizontal da área de desenvolvimento da seção batimétrica.

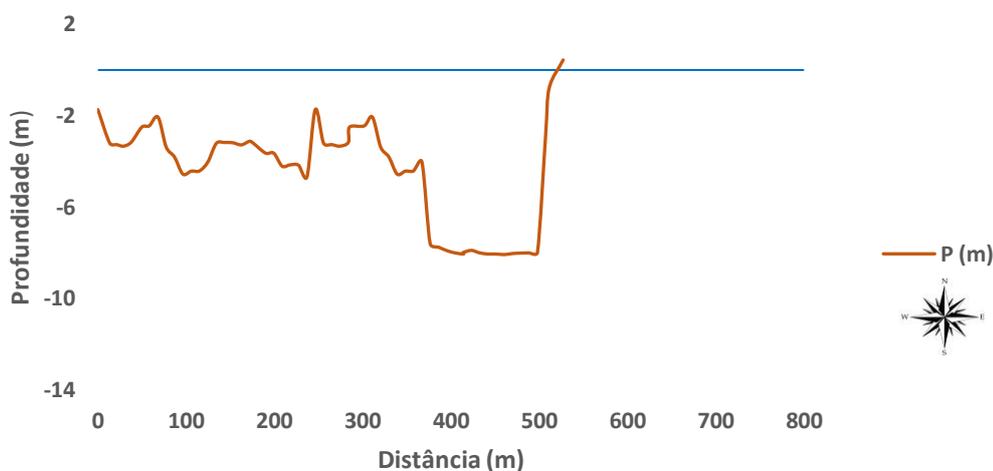
Figura 46 – Fotografia da seção batimétrica Prainha no Bairro Vermelha.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

Da área coberta por água, têm-se uma profundidade média de -5,83 metros. Todavia, sua profundidade varia entre -2,4 a -2,8 metros nas laterais, sendo a área mais profunda do canal com -8,05 metros, localizando-se próximo a margem direita, representando um fundo plano, diferenciando-se de mais de 65 metros de extensão longitudinal com níveis de fundo bastante irregular (GRÁFICO 67).

Gráfico 67 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Prainha, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

No que tange a caracterização dos sedimentos, verifica-se que o meio do canal, é constituído de areia fina.

- Seção Batimétrica Centro Administrativo

Considerando que este trecho do canal do rio corresponde a 479,1 metros de largura, ressalta-se que 226,7 metros de largura do canal do rio estão obstruídos por deposição sedimentar, sendo apenas 252,4 metros de canal livre (FIGURA 47).

É um canal com sedimentação recente, apesar de já haver desenvolvido vegetação na área de depósitos. O acúmulo de sedimentos se caracteriza como uma barra lateral, fixado na margem esquerda, proporcionando o estreitamento do canal.

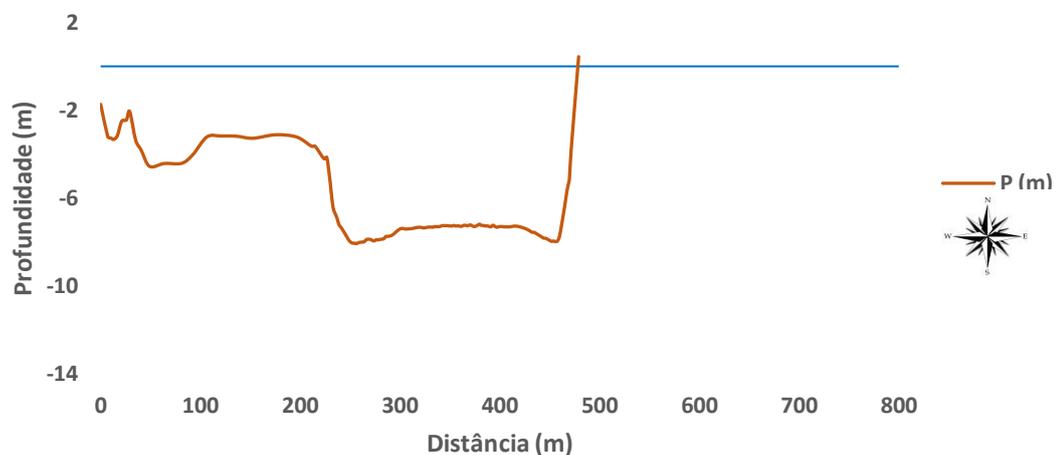
Figura 47 – Fotografia da seção batimétrica Centro Administrativo no Bairro Vermelha. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

Os diversos perfis feito nesta extensão do canal do rio permitiu a verificação de uma profundidade média de -6,7 metros com uma máxima de -8,0 metros, configurando uma fisionomia com depressões intermitentes na margem esquerda. Em direção à margem direita que tem fisionomia plana com profundidades variando de -8,0 a -7,5 metros, reduzindo a zero no limite da margem direita (GRÁFICO 68).

Gráfico 68 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Centro Administrativo, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

Entre a última seção e a atual há vários bancos de sedimentos emersos que se caracterizam como bancos fixos. Estão recobertos por vegetação. Nesta área há uma sinuosidade para a esquerda, justificando a preferência do acúmulo de sedimentos.

- Seção Batimétrica Balão da CEPISA

Tomando-se uma seção batimétrica em uma curva do rio, executada sobre depósitos arenosos do canal, tem-se um plano fluvial representado por depressões e elevações emersas e submersas em sua calha (FIGURA 48).

As formas do relevo deste trecho mostram aparência com uma variação de desníveis. As ilhas formadas estão sendo permanentemente retrabalhadas pela dinâmica do fluido do rio, ocorrendo assim o transporte e deposição de sedimentos constantemente. No entanto, há ilhas com desenvolvimento de vegetação, potencializando assim, a fixação dos sedimentos. Através da figura 48, visualiza-se o canal do rio com bloqueio à visão da margem esquerda, interferida por ilha fluvial.

Figura 48 – Fotografia da seção batimétrica Balão da CEPISA no Bairro Vermelha.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



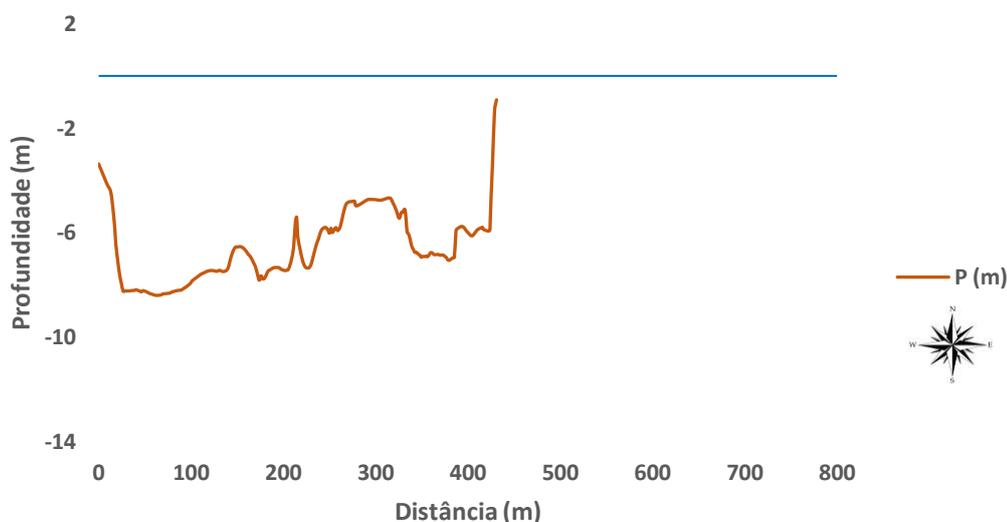
Fonte: Costa (set/2019)

As ilhas formadas neste segmento estão recobertas por vegetação, depósitos que se configuram como viveiros ecológicos. Ilhas que já se caracterizam como um sistema resultante dos processos erosivos e de deposição de sedimentos alinhados em correnteza.

Mesmo havendo ilhas fluviais no canal, a referida área tem medida longitudinal de 431,1 metros Leste-Oeste, interrompida por 108 metros de largura da ilha cuja dimensão latitudinal é cerca de 774 metros.

Esta zona batimétrica apresenta uma profundidade média de -6,8 metros. Sua morfologia de fundo é irregular distribuídas entre as profundidades de -0,9 e -8,4 metros (GRÁFICO 69). A margem esquerda se destaca pela profundidade de -3,3 metros.

Gráfico 69 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Balão da CEPISA, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Ponte da Amizade

Um aspecto deve ser considerado essencial neste trecho do rio, seja pela construção da ponte, seja pela interação entre os processos erosivos e deposicionais: são os registros do perfil batimétrico configurando uma subsuperfície de espectro com desnível vinculada a uma curta escala temporal podendo haver mudanças devido ao perfil de equilíbrio do rio. Por estar próximo a uma saída de esgoto doméstico, sua margem direita tem como característica uma área sedimentada com desenvolvimento de vegetação de pequeno porte.

O canal do rio, na referida seção tem uma extensão longitudinal de 396,5 metros, por vezes interferida por barras de sedimentos (FIGURA 49).

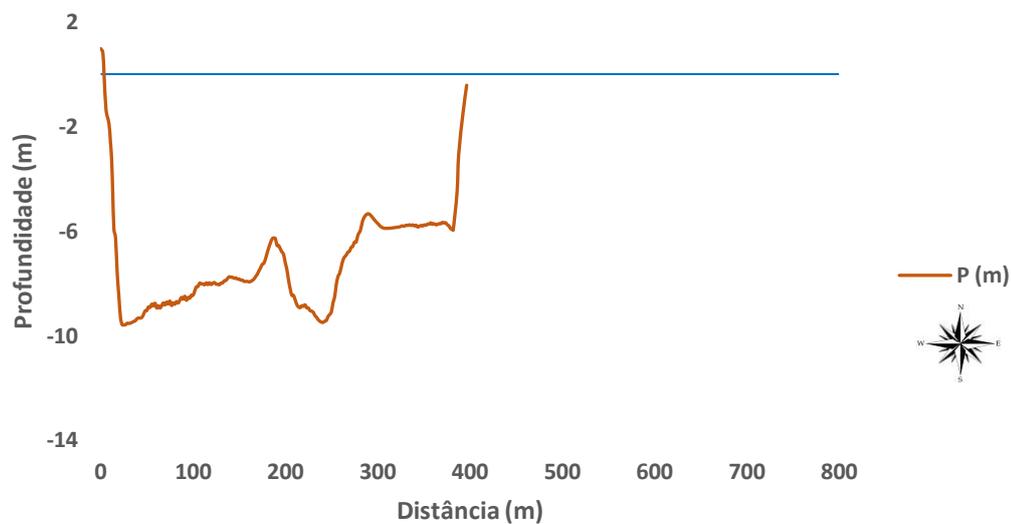
Figura 49 – Fotografia da seção batimétrica Ponte da Amizade, no Bairro Centro.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

Face ao perfil batimétrico, a configuração deste trecho é representada como uma área de relativa profundidade, com uma média de -7,3 metros. (GRÁFICO 70). Sua margem esquerda é a parte mais rasa deste trecho com 0,9 metros positivos, a margem direita finda-se com -0,4 metros. A parte mais profunda neste trecho do canal é -9,59 metros.

Gráfico 70 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Ponte da Amizade, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPAN (2017)

A cerca de 290 metros a montante da referida seção batimétrica têm-se uma classificação granulométrica com características de silte grosso, margem direita e, na margem esquerda, a cerca de 200 metros têm-se areia muito fina.

- Seção Batimétrica Troca-Troca

Existem várias atividades nas margens do rio. Todavia, próximo a referida seção batimétrica é desenvolvida atividades comerciais de compra, venda e troca de mercadorias, cujo nome é a referência para a denominação da seção batimétrica, ‘Troca-Troca’, que anteriormente funcionava como um cais para barcos maiores, e atualmente funciona como um segmento de passagem para pequenos barcos que faz travessia de um lado a outro do rio, Teresina (PI) - Timon (MA) diariamente, com transporte de pessoas, migração pendular.

Nesta seção batimétrica, as feições da topografia do relevo perfazem um total de 313,9 metros longitudinal recoberto por água, em sua maioria, sob um relevo levemente plano, distinguindo-se por suas laterais, que se configuram como áreas mais profundas em relação ao meio do canal. A figura 50, permite a visualização transversal desta zona batimétrica sem a presença de barras de sedimentos emersos.

Figura 50 – Fotografia da seção batimétrica Troca-Troca no Bairro Centro.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

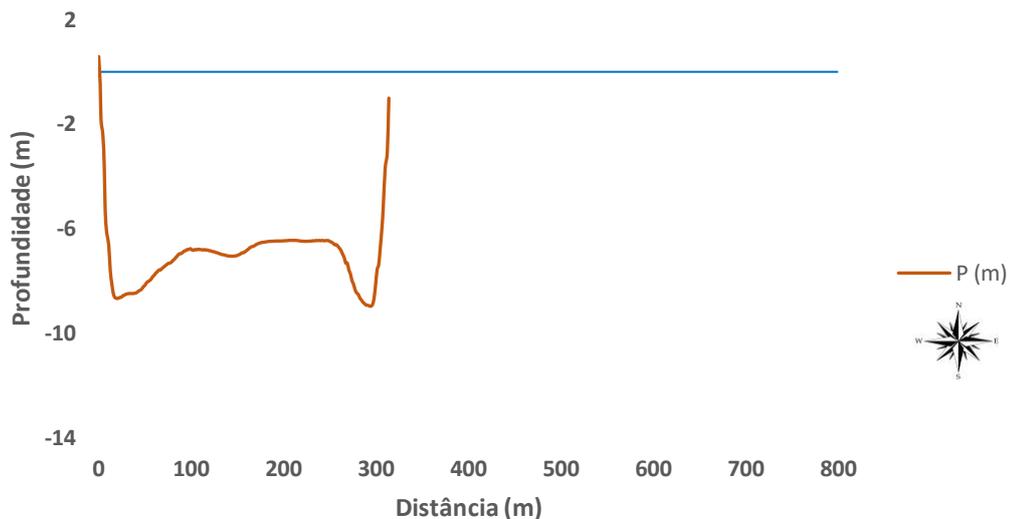


Fonte: Costa (set/2019)

A profundidade média do canal do rio está em -6,9 metros. Sua máxima é -8,9 metros e mínima de -0,5 metros.

As áreas mais profundas desta seção configuram uma fisionomia de forma geométrica côncava, com profundidade variando entre -8,9 e -8,7 metros, direito e esquerdo, respectivamente. Tem uma leve depressão no meio do canal (GRÁFICO 71).

Gráfico 71 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Troca-Troca, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

A classificação dos sedimentos neste trecho do rio é destacada pelas diferentes categorias granulométrica, verificado na margem direita como areia muito fina, margem esquerda como silte grosso e, meio do canal com areia fina.

- Seção Batimétrica Ponte Metálica

De todas as áreas de seções batimétricas, esta, se caracteriza com a menor extensão longitudinal no canal tendo uma largura de 176,9 metros. A figura 51, visualiza toda a extensão leste -oeste, não sendo interrompida por bancos de sedimentos.

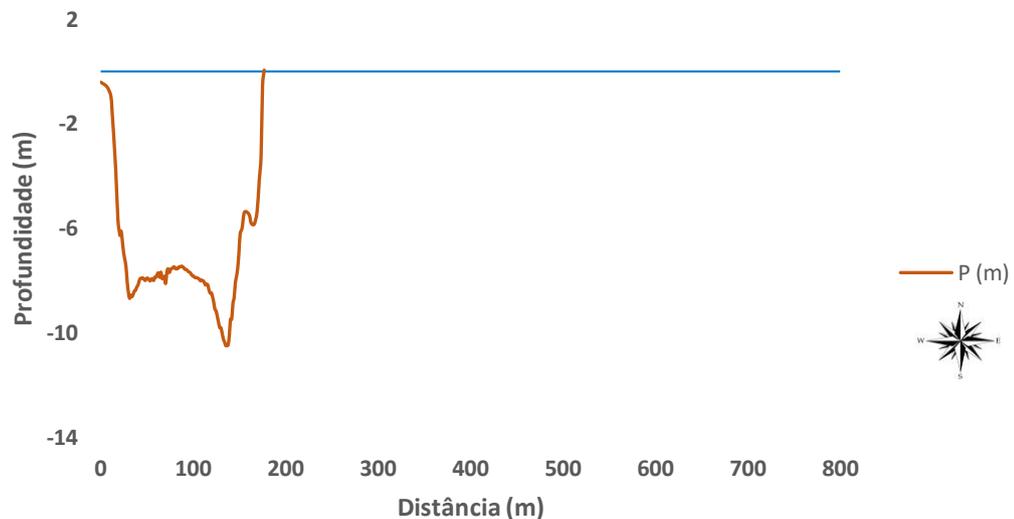
Figura 51 – Fotografia da seção batimétrica Ponte Metálica no Bairro Matinha.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

A dinâmica erosiva e deposicional diferenciada nos segmentos do canal do rio é responsável pela configuração topográfica de fundo. Como resultado dessa dinâmica tem-se um perfil de fundo caracterizado como uma área de plano geometricamente côncavo, com profundidade média de -7,8 metros, chegando a -10,5 metros, apresentando uma depressão íngreme nas proximidades da margem direita do rio (GRÁFICO 72).

Gráfico 72 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Ponte Metálica, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPAN (2017)

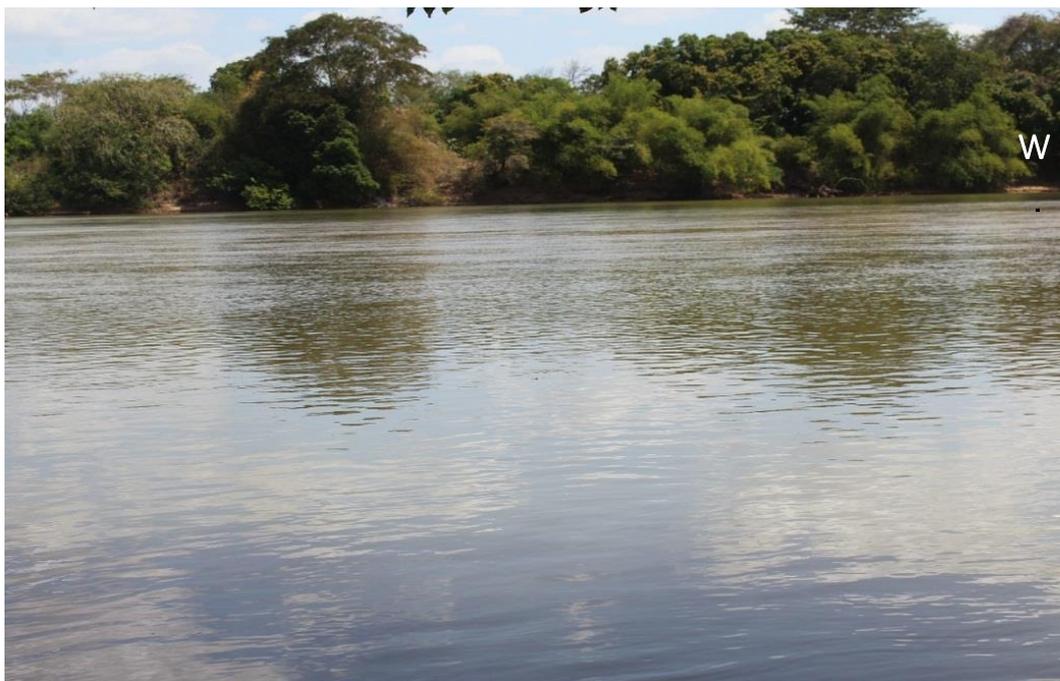
A aproximadamente 200 metros a jusante dos perfis batimétricos, têm-se dados da classificação granulométrica da margem direita do canal e do meio, categorizados como areia muito fina e areia fina, respectivamente.

- Seção Batimétrica Iate Clube

Sendo parte da curva externa do canal fluvial, este trecho tem em seus limites laterais diques marginais que contribuem com o barramento da passagem das águas para áreas de planícies durante as cheias.

Com relação ao canal do rio, se observa na figura 52, que não há bancos de sedimentos emersos no referido trecho cuja extensão longitudinal mede 206,0 metros.

Figura 52 – Fotografia da seção batimétrica Iate Clube no Bairro Matinha.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

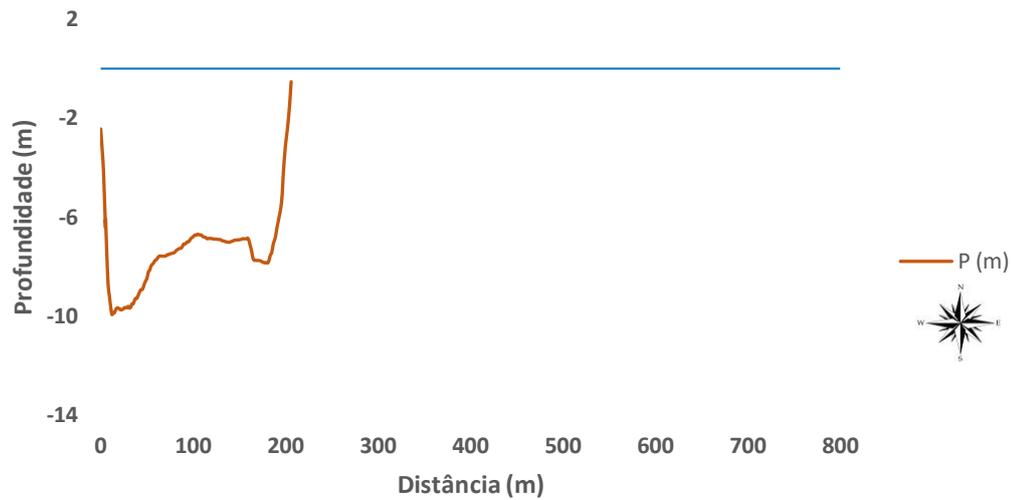


Fonte: Costa (set/2019)

O perfil topográfico situado sobre depósitos de sedimentos, apresenta configuração semelhante à seção anterior, com um plano de fundo geométrico côncavo.

Nesta seção ocorre depressão de -9,9 metros de profundidade, seguido por uma pequena elevação variando entre -9,0 e -7,7 metros de profundidade. Sua menor profundidade está na margem direita do canal com -0,5 metros (GRÁFICO 73).

Gráfico 73 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Iate Clube, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Universidade Estadual - UE

As características naturais desta seção traduzem uma área com uma série de processos deposicionais e erosionais. Sua extensão longitudinal mede 353,7 metros. Sua localização fica paralela à sede da Universidade (UE), no bairro Pirajá.

Observa-se na figura 53, que os bancos de sedimentos expostos são utilizados como área de praia para os banhistas.

Figura 53 – Fotografia da seção batimétrica UESPI no Bairro Pirajá. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

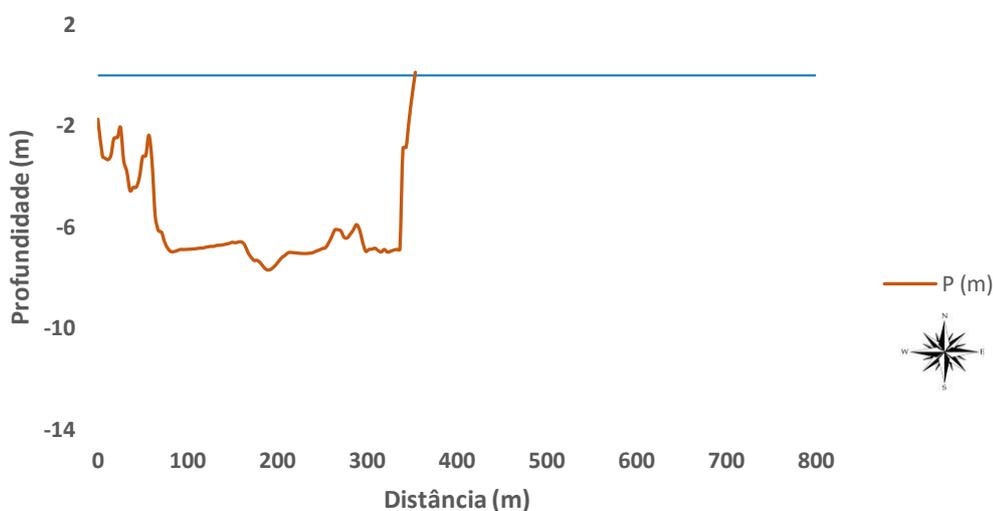


Fonte: Costa (set/2019)

Como consequência têm-se na margem esquerda aproximadamente de 120 metros, caracterizada como área de terraço fluvial com desenvolvimento de vegetação. O trecho com fluxo de água tem cerca de 273,7 metros, sua profundidade varia de -0,7 a -7,7 metros (GRÁFICO 74). Na referida área, destaca-se o meio do canal, com exposição de banco de sedimentos, desfazendo-se por arraste pela correnteza das águas.

Para fins da sedimentologia, destaca-se areia fina no meio do canal e silte grosso na margem direita.

Gráfico 74 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção UESPI, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Estação de Tratamento de Esgotos de Teresina - ETE THE

Definida como zona ETE por estar paralelo às descargas dos efluentes da estação de tratamento de esgotos da cidade de Teresina, no bairro Acarape. Caracteriza-se com uma exposição de sedimentos emersos no meio do canal cuja extensão mede 500 metros sentido sul-norte. A largura do canal neste trecho é 387,0 metros, sentido Leste-Oeste (FIGURA 54).

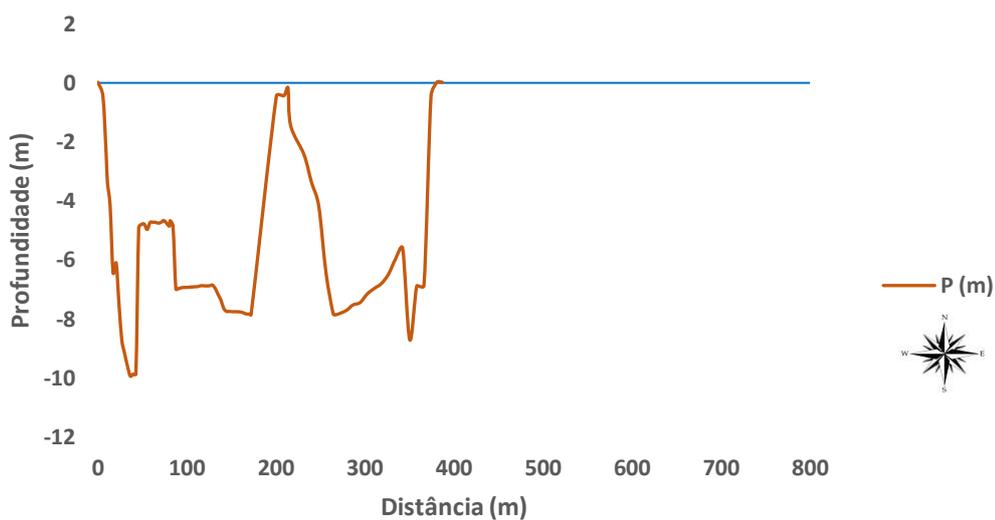
Figura 54 – Fotografia da seção batimétrica ETE-THE no Bairro Acarape. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

É uma zona com bastante desníveis em seu canal. A profundidade média é -5,8 metros, variando entre -0,4 a -9,9 metros (GRÁFICO 75).

Gráfico 75 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção ETE-THE, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Academia da Melhor Idade - AMI

Confere-se a genérica denominação a esta seção batimétrica de Academia da Melhor Idade – AMI, devido à proximidade local da seção batimétrica com o ambiente de mesmo nome, estando no bairro Matadouro.

Suas características confere uma extensão longitudinal de 304,4 metros, com uma saliência exposta a cerca de 152 metros distante da margem direita (figura 55), fazendo parte de um conjunto de pequenas ilhas fluviais.

Figura55 – Fotografia da seção batimétrica AMI no Bairro Matadouro.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



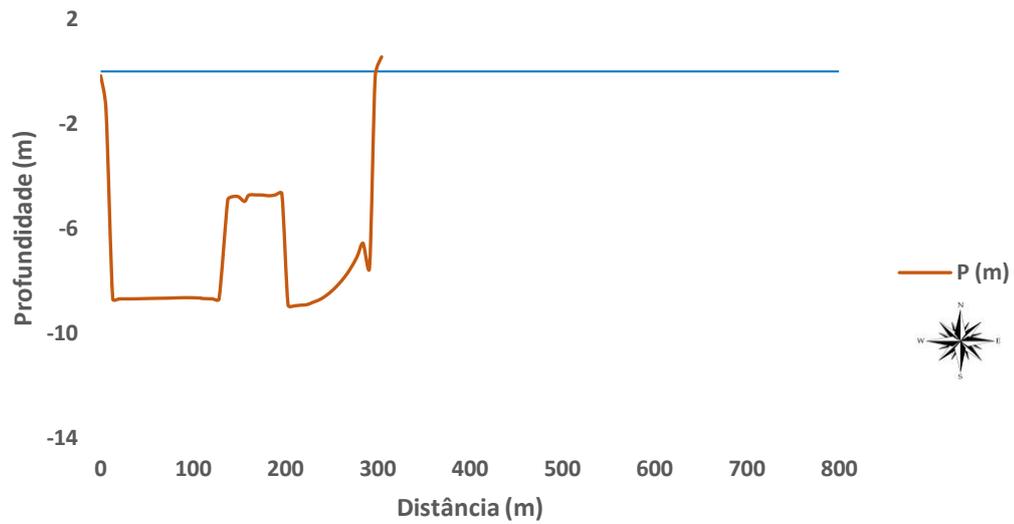
Fonte: Costa (set/2019)

Através do gráfico 76, percebe-se a profundidade desta seção batimétrica que varia de -0,1 a -8,9 metros, havendo uma descontinuidade por sedimentos emersos no meio do canal.

Sua área mais estreita é resultado de um processo de sedimentação na margem esquerda do canal.

Conforme mencionado, os sedimentos que formam uma pequena ilha no meio do canal, se classificam como areia fina. No entanto, a cerca de 158 metros a montante desta seção batimétrica, margem direita, têm-se uma análise com classificação sedimentológica de areia muito fina.

Gráfico 76 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção AMI, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Monumento Direitos Humanos - MDH

As características dispostas nesta seção relacionada à sua titulação, justifica-se pela proximidade com o monumento de mesmo nome, localizado no Parque Lagoas do Norte, bairro Matadouro(FIGURA 56).

Figura 56 – Fotografia da seção batimétrica MDH no Bairro Matadouro. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

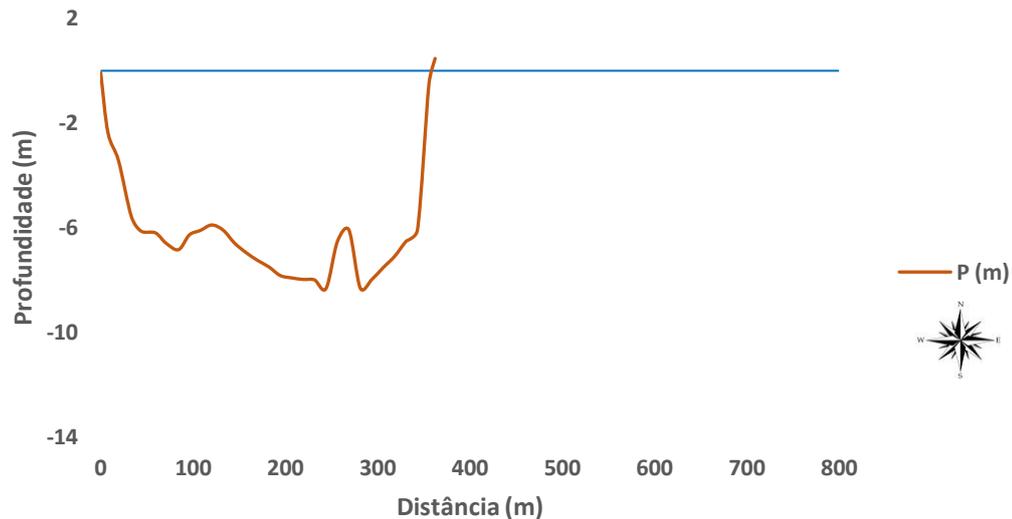


Fonte: Costa (set/2019)

Este trecho do rio, tem um perfil transversal estreito com 362,3 metros, sentido Leste-Oeste, estando em uma curva do canal do rio. É uma área livre de barras de sedimentos no canal

A pouca sedimentação contribui com a profundidade que a caracteriza, variando entre -0,1 a -8,3 metros. porém, sua profundidade média é -6,0 metros (GRÁFICO 77).

Gráfico 77 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção MDH, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Lagoas do Norte

A seção batimétrica Lagoas do norte, tem tal denominação referente ao parque de mesmo nome, localizado no bairro Matadouro. Tem um perfil longitudinal de 338,3 metros de extensão.

Na área da referida seção batimétrica (figura 57), não foi identificado formação de ilhas, sendo possível visualizar todo o canal do rio em perfil longitudinal, sentido Leste-Oeste.

Figura 57 – Fotografia da seção batimétrica Lagoas do Norte no Bairro Matadouro.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

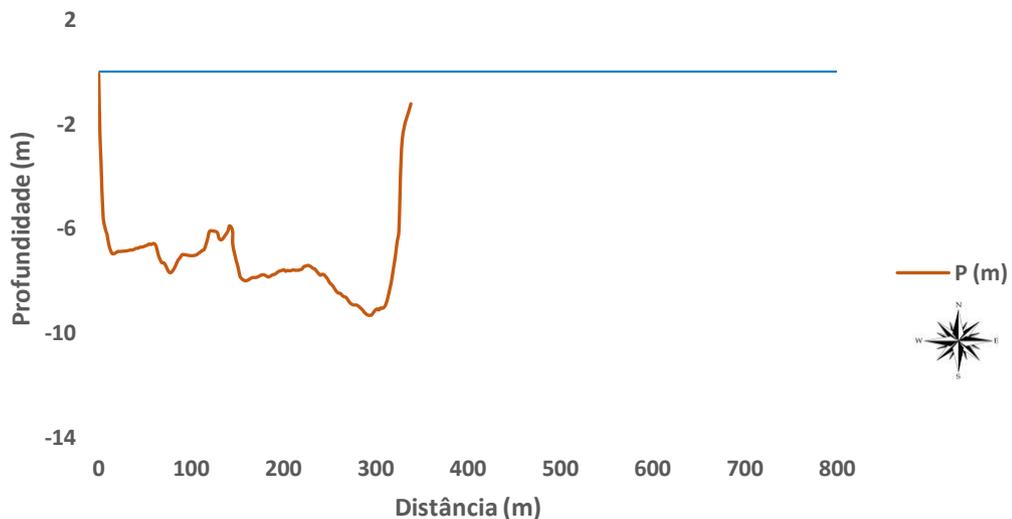


Fonte: Costa (set /2019)

A morfologia de fundo dessa seção é formada por uma variação fisiográfico com superfície fluvial de desníveis variando entre -0,1 e -9,0 metros de profundidade, com área mais profunda no lado direito do canal (GRÁFICO 78). Sua profundidade média é -7,4 metros.

Há cerca de 110 metros a montante da seção batimétrica (margem direita), há atividade de dragagem. Conforme observado, essa atividade pode justificar a profundidade da área.

Gráfico 78 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Lagoas do Norte, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

Relacionado à sedimentologia, têm-se no meio do canal sedimentos classificados como areia fina e na margem esquerda, areia muito fina.

- Seção Batimétrica ETE Timon

Seção batimétrica desenvolvida no bairro São Joaquim, denominada pela proximidade com área de mesmo nome da cidade de Timon (MA), tem uma extensão longitudinal de 332,6 metros.

Através da figura 58, verifica-se que não há evidências de pequenos bancos de sedimentos no referido trecho.

Figura 58 – Fotografia da seção batimétrica ETE-T no Bairro São Joaquim. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

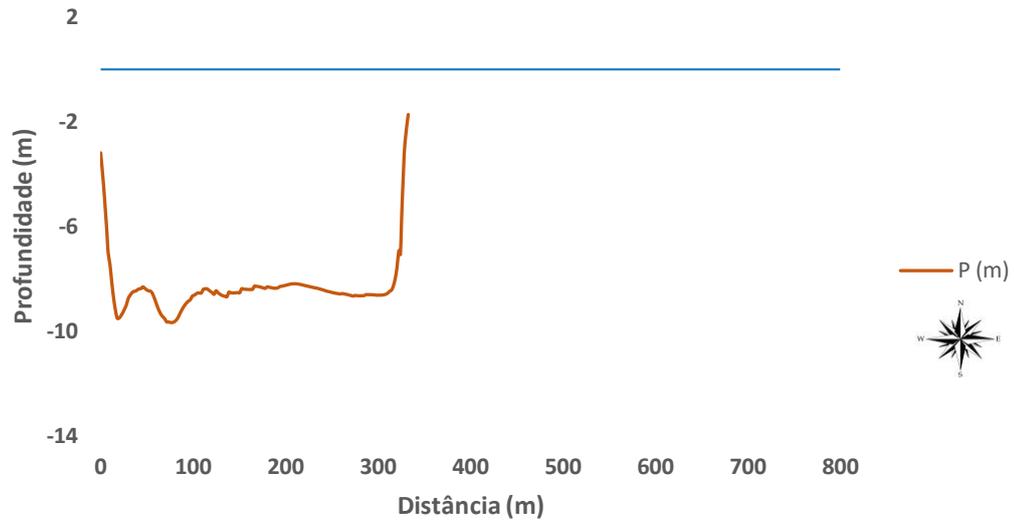


Fonte: Costa (set/2019)

Como vem ocorrendo em quase todo o canal, esta fração do rio apresenta um relevo de fundo com pequenas depressões. Sua profundidade varia entre -1,7 e -9,7 metros. Tem profundidade média de -8,3 metros (GRÁFICO 79).

A margem esquerda se caracteriza com sedimentos do tipo silte grosso.

Gráfico 79 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção ETE Timon, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Horta

Com relação a esta seção, têm-se uma das áreas mais largas do canal do rio no trecho estudado, com 623,0 metros de extensão longitudinal, livre de exposição de bancos de sedimentos (FIGURA 59).

Figura 59 – Fotografia da seção batimétrica Horta no Bairro São Joaquim. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

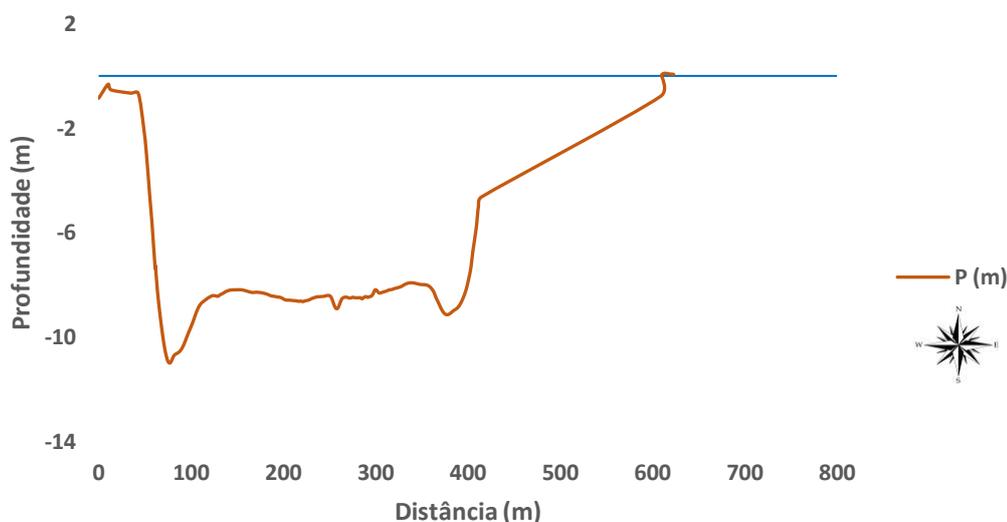


Fonte: Costa (set/2019)

A feição morfológica desta seção corresponde a um plano de fundo transversal com uma declividade bastante íngreme na margem esquerda e suavizada na margem direita. A profundidade média é -8,1 metros. Esse trecho varia entre uma profundidade -0,3 e -10,9 metros (gráfico 80), sendo a parte mais profunda próximo à margem esquerda do rio.

As duas margens são compostas por uma sedimentação classificada como areia muito fina.

Gráfico 80 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Horta, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Bar do Velinho

Para esta zona batimétrica, têm-se como características uma área com 472,4 metros de extensão longitudinal, sendo seu canal interrompido por uma ilha de aproximadamente 120 metros sentido Leste-Oeste.

Tomando-se uma área influenciada por ilhas fluviais, verifica-se que há uma elevação no meio da seção batimétrica com um comprimento de 612 metros de extensão latitudinal, sul-norte (FIGURA 60).

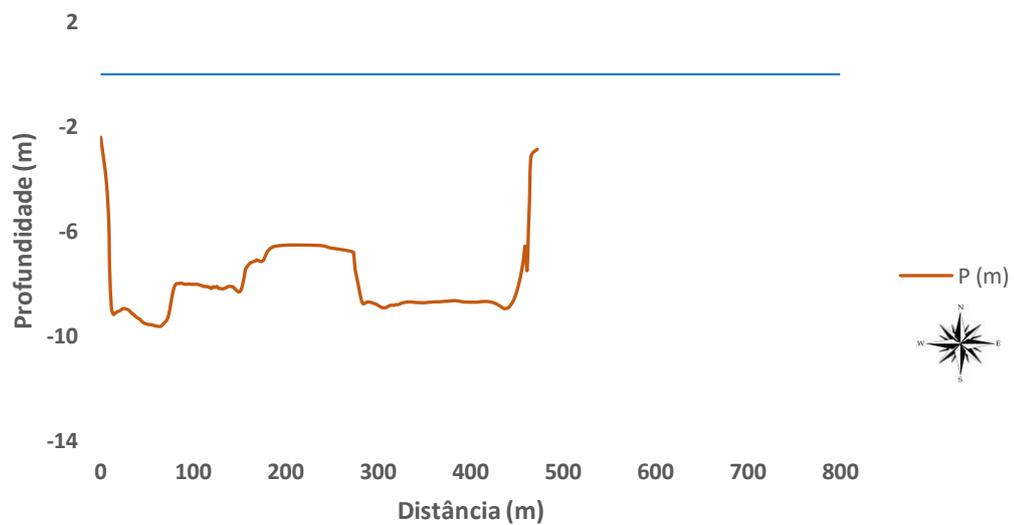
Figura 60 – Fotografia da seção batimétrica Bar do Velinho no Bairro Olarias. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

A fisionomia topográfica deste trecho do rio exhibe um perfil transversal de fundo com uma profundidade média de -8,3 metros. Variando assim, entre -2,4 e -9,6 metros de profundidade (GRÁFICO 81).

Gráfico 81 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Bar do Velinho, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

As características do meio do canal do rio relacionada a sedimentologia configura uma categoria de areia fina.

- Seção Batimétrica Encontro dos Rios

Face a sua peculiaridade geodinâmica em termos de topologia de fundo, esta seção representa uma das mais variáveis fisionomia de relevo emersas e submersas neste trecho do rio. Com uma extensão longitudinal de 674,7 metros, este trecho é interrompido por conjuntos de ilhas fluviais, cuja largura no ponto da batimetria é de aproximadamente 322 metros Leste-Oeste. Sua dimensão latitudinal é 1.190 metros de extensão, indo além do encontro dos Rios Poti e Parnaíba, alcançando as próximas seções batimétrica.

Através da figura 61, visualiza-se somente a margem direita da ilha fluvial desenvolvida neste trecho do rio. A imagem tem sentido Leste-Oeste, retirada a partir da margem direita do canal. é uma ilha que se configura como ilha fluvial fixa por desenvolver vegetação.

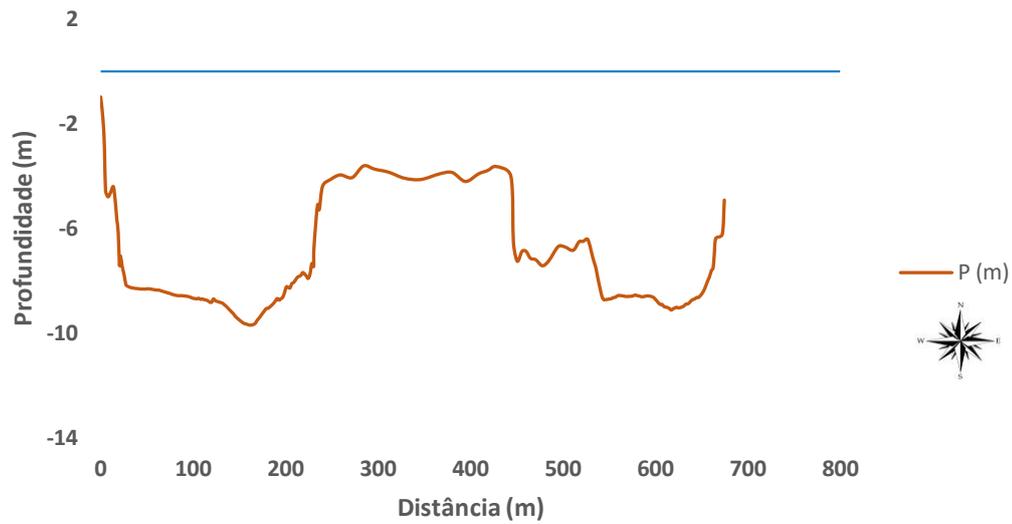
Figura 61 – Fotografia da seção batimétrica Encontro dos Rios no Bairro Olarias. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

O canal do rio apresenta uma topografia variando entre áreas submersas e áreas emersas, com uma profundidade média de -8,4 metros. Cabe destacar que sua profundidade varia entre -0,9 e -10,5 metros (GRÁFICO 82).

Gráfico 82 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Encontro dos Rios, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Barra das Pombas

Sob influência do sistema de ilhas fluviais esta seção batimétrica se caracteriza como um relevo de muitos desníveis, sendo a parte mais larga do canal do rio na área urbana, com 708,2 metros de extensão longitudinal (FIGURA 62).

Figura 62 – Fotografia da seção batimétrica Barra das Pombas no Bairro Santa Rosa. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



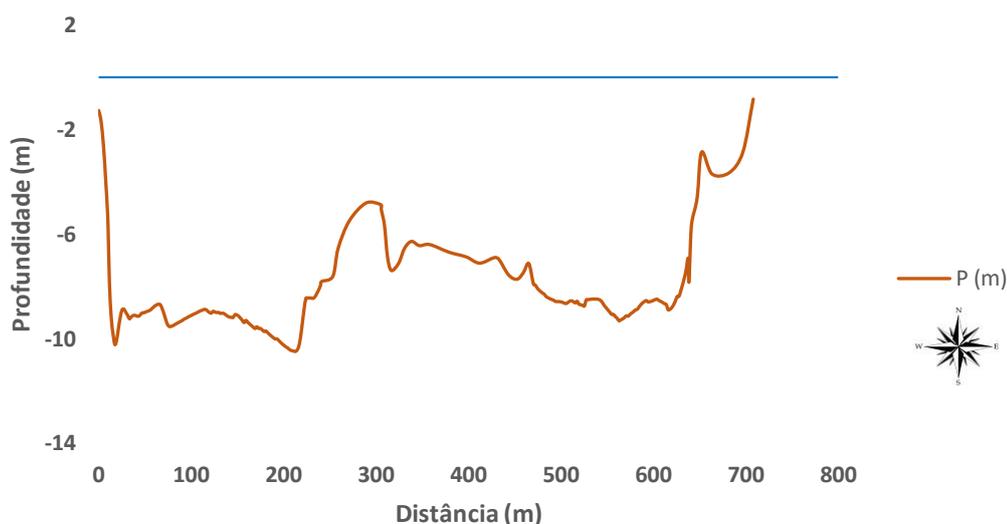
Fonte: Costa (set/2019)

Neste trecho a ilha tem 246 metros de largura, sentido Leste-Oeste. A referida seção é influenciada pelas águas do Rio Poti, já que está acerca de 165 metros a jusante da desembocadura do Rio Poti no Rio Parnaíba. A figura 61, tem a representação da área no sentido sul-norte. No entanto, é visível somente o lado direito do canal, já que há interferência visual promovida pela referida ilha.

A feição morfológica de fundo deste trecho do rio corresponde ao plano de declividade, resultado de um processo de erosão e deposição diferencial nas condições de uso da área, configura-se com uma profundidade média de -8,4 metros. A alteração de sua profundidade decorre em relação ao acúmulo de sedimentos no canal que varia entre -0,8 e -10,5 metros (GRÁFICO 83).

Há cerca de 21 metros a jusante da seção batimétrica, margem esquerda, há atividade de dragagem, possivelmente colaboradora da maior profundidade desta seção.

Gráfico 83 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, Seção Barra das Pombas, outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

A areia muito fina é predominante no meio do canal desta seção batimétrica.

- Seção Batimétrica Sede Agrícola

Situada a cerca de 600 metros a jusante da zona batimétrica Barra das Pomba, esta seção está sob a influência da mesma ilha das duas últimas seções batimétrica. Apresenta em todo o seu intervalo desníveis em sua topologia. Seu nome faz referência a sede agrícola, cujas

atividades são desenvolvidas às margens do Rio Parnaíba. Sua localização fica no bairro Santa Rosa.

Semelhante a área de atividade agrícola (atividade de vazante) na margem direita do rio, o meio do canal apresenta-se bastante assoreada, configurada como ilha com desenvolvimento de vegetação, impossibilitando a visibilidade da margem esquerda do rio (figura 63), estando assim, caracterizada com duas feições de talvegue.

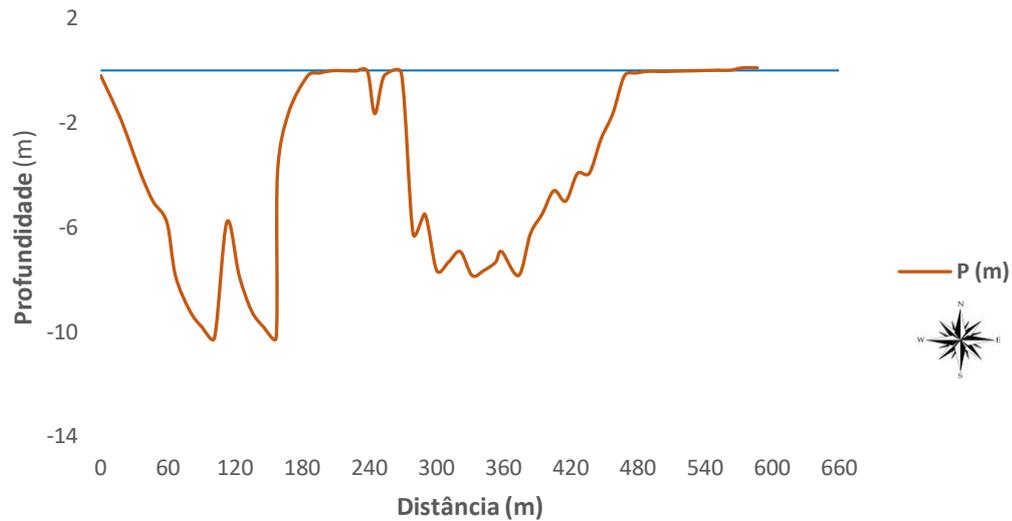
Figura 63 – Fotografia da seção batimétrica Sede Agrícola no Bairro Santa Rosa.
Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



Fonte: Costa (set/2019)

Comumente, verifica-se neste trecho do canal feição morfológica de fundo bastante descompensada, não sendo diferente neste perfil longitudinal, cujas características batimétricas variam de -0,0 a -10,2 metros, com intercalações de profundidade em todo o perfil, cuja extensão longitudinal é de 587 metros (GRÁFICO 84). No entanto, cerca de 118 metros da margem direita, se configura como área de terraço fluvial e cerca de 90 metros faz parte da superfície da ilha fluvial que se desenvolveu no meio do canal.

Gráfico 84 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Sede Agrícola, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Santa Rosa

Localizada a jusante da seção batimétrica Sede Agrícola a cerca de 580 metros, está a seção cuja denominação refere-se ao bairro de localização, Santa Rosa, que faz parte do trecho retilíneo do canal (FIGURA 64).

Figura 64– Fotografia da seção batimétrica Santa Rosa, no Bairro Santa Rosa. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



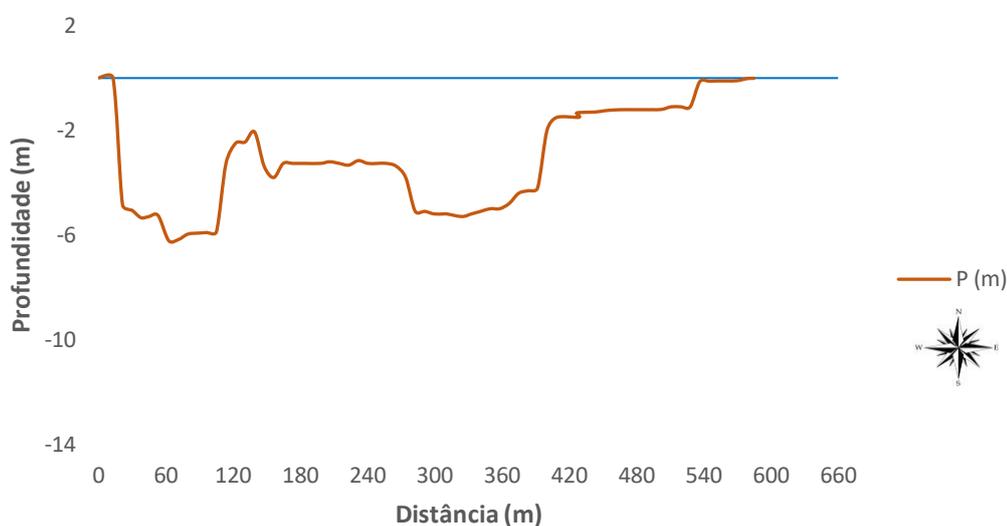
Fonte: Costa (set/2019)

A figura 63, evidencia uma área assoreada principalmente em sua margem direita, destacando a sedimentação de aproximadamente 140 metros de largura com um pequeno acúmulo de água nos níveis mais baixos, caracterizada assim como terraço fluvial.

O leito maior do rio neste trecho se configura com 584,8 metros de extensão longitudinal, porém, o leito menor é de apenas cerca de 444 metros, ou seja, por onde passa o fluxo de água atualmente.

A profundidade média do rio neste trecho é -3,1 metros. Determinado pela variação de profundidade entre -0,0 a -6,2 metros, (GRÁFICO 85).

Gráfico 85 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Santa Rosa, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

A exemplo de áreas anteriores, próximo a essa seção batimétrica, no meio do canal, têm-se sedimentos classificados como areia muito fina.

- Seção Batimétrica Parque Brasil

A prevalência da denominação à referida seção batimétrica, está relacionada à sua localização, estando no bairro de mesmo nome, bairro Parque Brasil.

Com 483,5 metros de extensão longitudinal tem-se o leito maior do canal, sendo caracterizado por dois talwegues, resultante da formação de ilha fluvial, cuja largura é verificada em aproximadamente 110 metros sentido Leste-Oeste e um comprimento de 1.819 metros sul-norte, atingindo a jusante outras duas seções batimétricas.

Na figura 65, é possível visualizar apenas o lado direito do canal, barrada pela margem direita da ilha recoberta por vegetação.

Figura 65 – Fotografia da seção batimétrica Parque Brasil no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

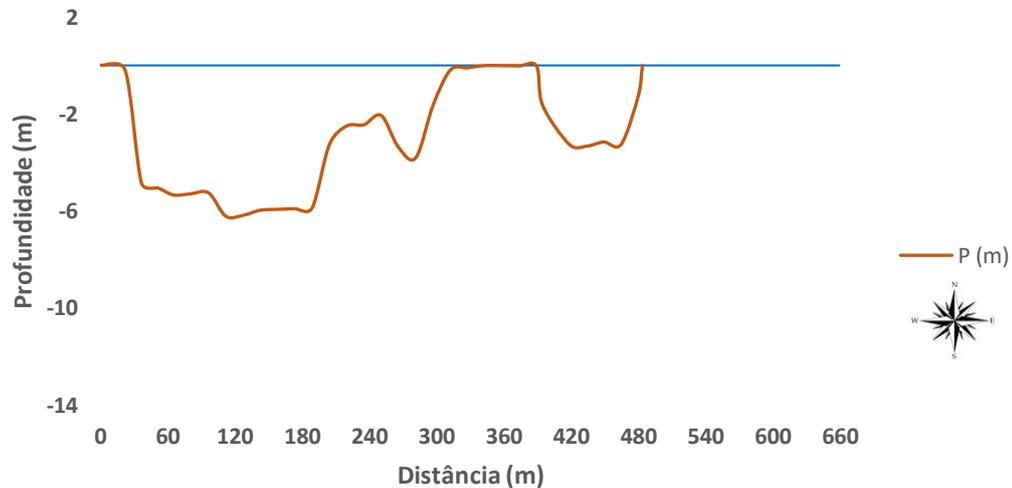


Fonte: Costa (set/2019)

Esta zona localiza-se a jusante da seção batimétrica Santa Rosa, sendo uma área descompensa, cujo desnível evidencia a sedimentação e erosão contínua. Sua profundidade média é -2,9 metros.

Observando o gráfico 86, verifica-se uma variação de 0,0 a -6,2 metros de profundidade como uma descontinuidade morfológica.

Gráfico 86 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Parque Brasil, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Curva Poti

A extensão longitudinal é de 485,7 metros, estando sobre um conjunto de ilhas fluviais, a maior mede 139 metros de largura na faixa do perfil, com um comprimento de 1.819 metros sul-norte, estando sobre a mesma ilha da seção anteriores. Confere-se ainda bancos de sedimentos emersos, de 18 metros e 155 metros de largura aproximadamente (FIGURA 66).

Figura 66 – Fotografia da seção batimétrica Curva Poti no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

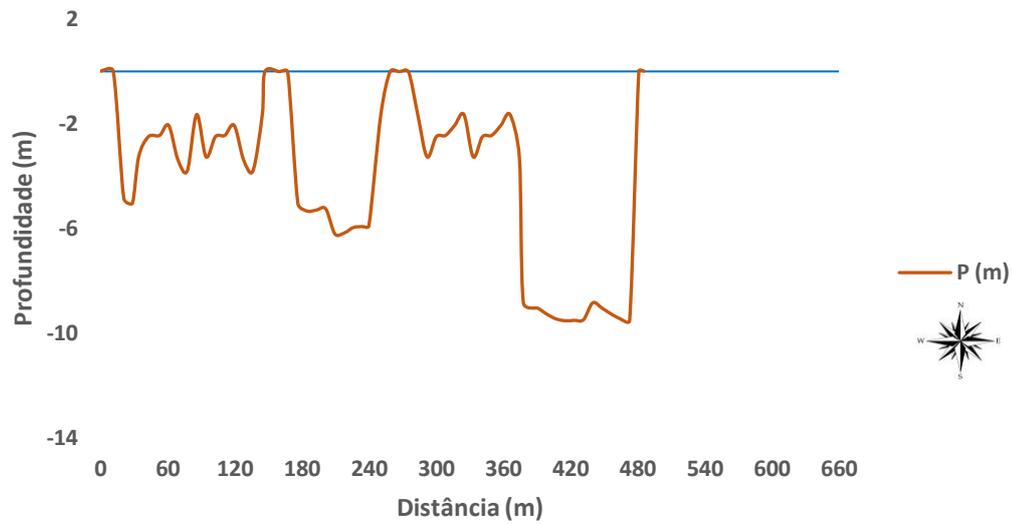


Fonte: Costa (set/2019)

A partir da figura 66, é possível visualizar a margem direita da ilha, assim como o lado direito do canal do rio.

De acordo com o observado no gráfico 87, verifica-se que o desnível do plano de fundo da seção estar totalmente sobre acúmulos de sedimentos, individualizando pontos profundos, sendo -9,5 metros os maiores desníveis e, 0,0 metro os mais rasos. No entanto, sua profundidade média é -4,0 metros.

Gráfico 87 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Curva Poti, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

A associação de bancos de sedimentos dispostos neste trecho favorece a uma conclusão de que no referido período há existência de uma baixa intensidade de energia fluvial.

- Seção Batimétrica Beira Rio

Das três seções batimétricas dispostas sobre a ilha fluvial, nesta confere sua maior largura, com cerca de 253 metros no meio do canal. A denominação desta zona, infere-se a residências disposta à margem direita do rio no bairro Parque Brasil.

A extensão longitudinal da referida seção é 483,5 metros, interditada no meio pela ilha fluvial. Através da figura 67, é possível visualizar a extensão vertical da ilha e seu lado direito.

Figura 67 – Fotografia da seção batimétrica Beira Rio no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

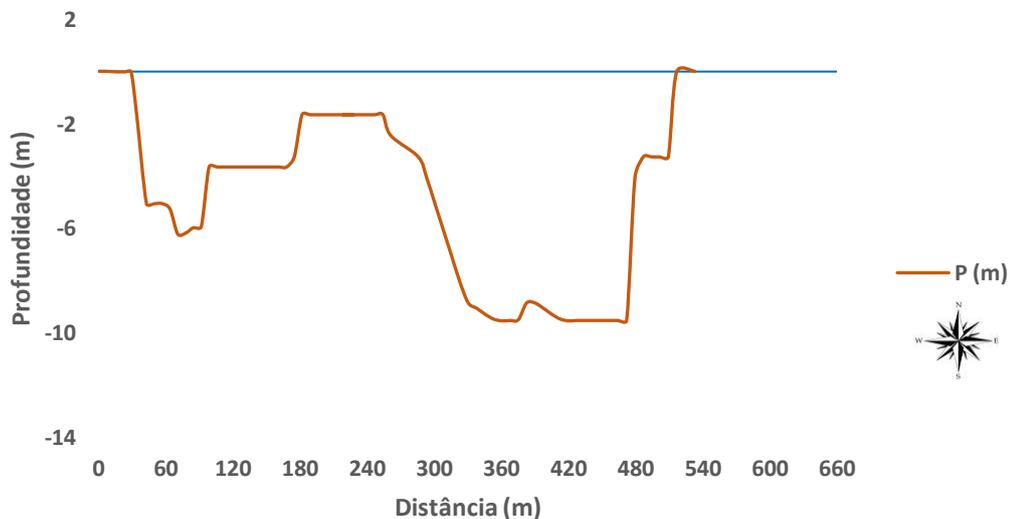


Fonte: Costa (set/2019)

Este trecho do rio tem profundidade média de -4,9 metros, variando entre -0,1 a -9,5 metros de profundidade (GRÁFICO 88). Com feição morfológica descontínua, apresenta dois canais principais de escoamento (talvegue), sendo o talvegue do lado direito, o mais profundo.

Na área é identificada atividade de dragagem em sua margem direita, podendo justificar a profundidade da margem.

Gráfico 88 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Beira Rio, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

- Seção Batimétrica Porto

A denominação da seção é expressa devido as margens estarem sendo utilizadas como um porto fluvial de embarcação para transportes de pessoas de uma margem a outra, através de um pequeno barco movido a óleo.

A extensão longitudinal deste trecho é 406,0 metros, com interferência de uma ilha cuja largura tem aproximadamente 92 metros. Mede cerca de 840 metros de extensão sul-norte. A figura 68, demonstra a largura do canal no lado direito do rio, visualizando um lado da ilha que apresenta características de sedimentos recentes, assim como, sedimentação fixa, já que há vegetação na área.

Figura 68– Fotografia da seção batimétrica Porto no Bairro Parque Brasil. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste

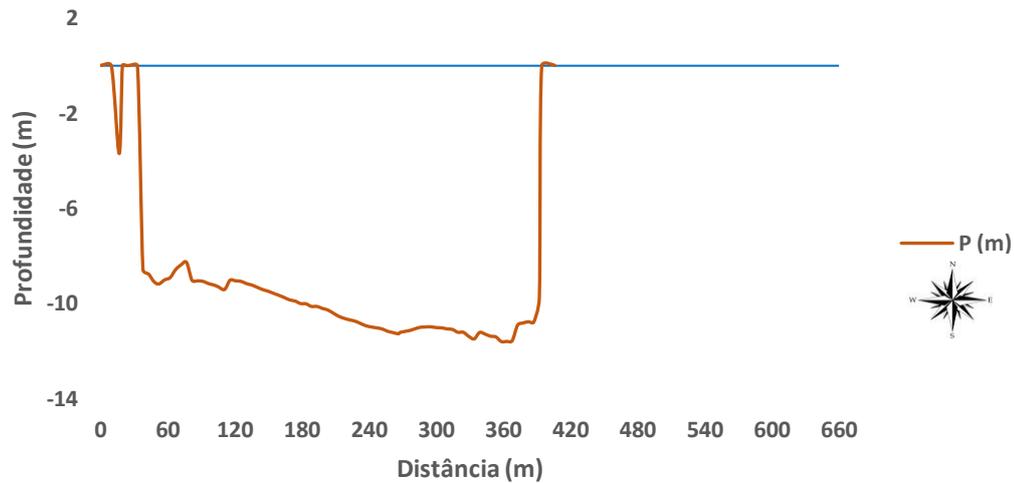


Fonte: Costa (set/2019)

A profundidade média do canal neste trecho é -9,1 metros., da qual varia entre -0,1 a -11,6 metros.

Semelhante a outros trechos do canal, esta parte caracteriza-se com dois talwegues separados por ilha, sendo o principal localizado no lado direito do canal. referente ao talvegue principal, têm-se um desnível com queda em direção leste (GRÁFICO 89). Há cerca de 100 metros a jusante da seção batimétrica há atividade de dragagem.

Gráfico 89 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Porto, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: Adaptado, SEMPLAN (2017)

As características sedimentares da margem direita neste trecho do canal se classificam como areia muito fina.

- Seção Batimétrica Fazenda São Gonçalo

Um pouco semelhante a seção anterior, têm-se esta seção batimétrica, cuja extensão longitudinal mede 383,4 metros, com interferência de sedimentos da margem esquerda ao meio do canal, se configurando como depósito de barras de canal, com medida de cerca de 175 metros no seu perfil transversal Leste-Oeste (FIGURA 69).

Figura 69 – Fotografia da seção batimétrica Fazenda São Gonçalo no Bairro Santa Maria. Imagem longitudinal do canal, sentido Leste-Oeste



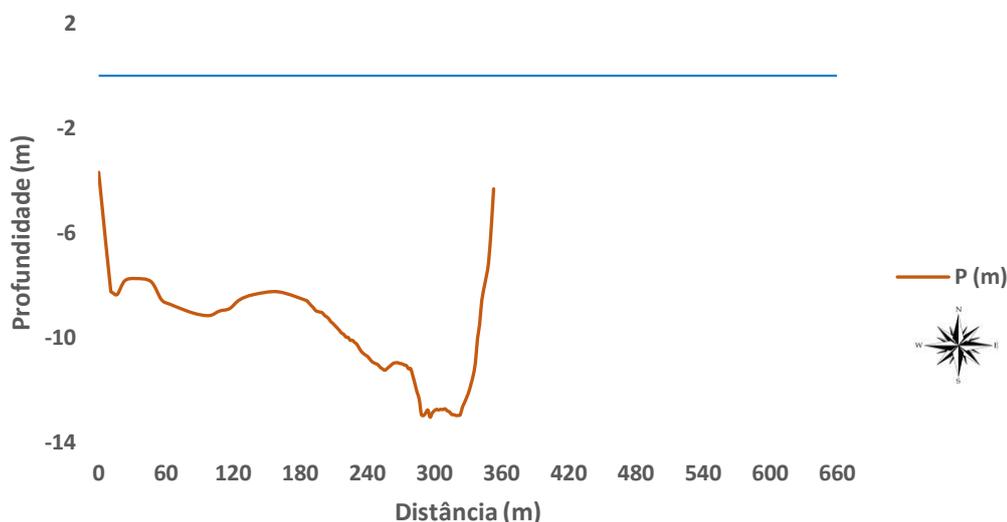
Fonte: Costa (set/2019)

A visibilidade feita através da figura 69, demonstra uma sedimentação recente no lado direito da ilha (leste), com sedimentos fixos no meio, identificado pelo desenvolvimento da vegetação.

O perfil transversal desta seção representa um dos maiores desníveis submerso neste trecho do rio, com uma profundidade média de -9,7 metros. A profundidade máxima atingida é de -13,0 metros e a mínima é -0,8 metros (gráfico 90), com caimento em direção à margem direita (Leste).

Há cerca de 8 metros a jusante da seção batimétrica tem atividade de dragagem, provavelmente justifica a maior profundidade da margem direita na seção.

Gráfico 90 – Perfil transversal do leito do Rio Parnaíba, na Seção Fazenda São Gonçalo, em outubro de 2017



Fonte: Costa, (2018). Base de dados: SEMPLAN (2017)

A aproximadamente 460 metros a jusante, têm-se dados de análise sedimentológica da margem direita do canal, cujo resultado caracterizado como sedimentos moderadamente selecionados, destaca areia muito fina.

4.5.2 Conclusões parciais dos estudos de batimetria

Considerando os resultados expostos da batimetria, observa-se que a morfologia de fundo do canal do rio no trecho estudado configura-se em relevo de meio de canal com sentido vertical, positivo e negativo. De acordo com Silva (2008), a morfologia de fundo de canal

apresenta relevo positivo e negativo, sendo relevo positivo, os bancos arenosos resultante da hidrodinâmica e, o relevo negativo é representado pelas depressões e pelo canal mais profundo.

Em relação à profundidade do canal, têm-se valores de batimetria medidos entre -0,01 e -13,0 metros, o que evidencia uma grande variação de profundidade na área de estudo.

A título de exemplo, o trabalho de batimetria da CPRM (2013), destaca-se especificamente por desenvolver sobre os perfis transversais, elucidando que embora as travessias tenham sido feitas alternadamente da margem direita para a esquerda e vice-versa, o perfil apresentado permanece com as margens esquerda e direita em seu local correto, sem alteração. Da mesma forma, ressalta-se o perfil batimétrico nestas análises, das quais as seções batimétricas foram traçadas pelo formato de curvas alternadamente entre as margens.

Como se observa, em escala real, os perfis transversais desta parte do rio, passa por uma grande elevação do relevo emerso (banco de sedimento).

Diante dos resultados, entende-se que as informações batimétricas são relevantes para as atividades de navegação, o turismo, o controle do assoreamento e principalmente para políticas de manutenção e prevenção do canal do rio, com base nas diretrizes ambientais considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005.

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir dos estudos ambientais, da caracterização sedimentológica e batimetria do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina, fundamenta a necessidade de entendimento da importância do rio para a sociedade, assim como, o compromisso de mudança de hábitos e comportamento referente ao uso da APP e dos recursos que o rio promove em seu percurso.

- **Vulnerabilidade do Rio Parnaíba em relação a APP**

Como uma das consequências do uso intensivo da APP, têm-se uma área consideravelmente vulnerável. A condição frágil da margem do rio demonstrada através de perigo estimado e análise de risco, tem caráter negativo ao seu canal, tornando-o bastante vulnerável nas áreas de maior urbanização, complementado pela ação dos agentes biológicos e dos fenômenos geológicos atuantes ao longo do leito do rio. No que tange os setores Sul e Norte 2, representam áreas de menor vulnerabilidade. O setor Centro e Norte 1, destacam-se em caráter negativo, representando alta vulnerabilidade ao canal do rio.

Dessa forma, a exposição da área em estudo, relacionada a retirada dos componentes naturais, deixando áreas descobertas e/ou recobrindo com material artificial indica uma vulnerabilidade biofísica.

Outro efeito negativo desencadeado ao rio, está relacionado aos perigos naturais (*natural hazards*), que são processos ou fenômenos naturais potencialmente prejudiciais que ocorrem na biosfera, que podem causar sérios danos socioeconômicos às comunidades expostas (ISDR, 2002)

Todavia, os perigos naturais, apresentam significativo danos ao processo natural do rio, resultando em problemas à sociedade. Em relação a desastres naturais, Goerl *et al.* (2012), destaca que sua ocorrência está sempre associada às perdas, sejam elas econômicas, sociais ou ambientais.

Como seria de se esperar, os riscos a área de estudo estão relacionados às características naturais do perigo do rio. A UNDP (2004), conclui que os fatores de desenvolvimento que configura risco de desastres são terremotos, ciclones e inundações. Neste contexto, destaca-se a inundações, por se tratar de análise de vulnerabilidade de rio, este é o fator de ocorrência na área.

Contudo, as inundações foram associadas pela UNDP (2004), a países com baixo produto interno bruto (PIB) per capita, baixa densidade local da população e alta exposição física, acarretando a altos níveis de risco. O que se configura a referida área de estudo.

Em termos específicos de risco, faz-se verídico as inundações periódicas na área. Entretanto, o canal do rio corresponde em 75% com baixa estimativas de risco ambiental. Goerl *et al.* (2012), destaca que o risco é usualmente definido como função do perigo e da vulnerabilidade. Assim sendo, o risco representa a suscetibilidade de uma comunidade sofrer danos ou perdas correspondente a um perigo.

- **Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da qualidade da água do Rio Parnaíba**

Candido (2015), em avaliação do índice de qualidade das águas na área urbana da bacia hidrográfica do Rio Mourão, Paraná, constatou que em 50% das análises foram notados os piores resultados para o IQA classificada como condição boa. Enfatiza-se que o IQA, do rio em estudo, apresentou resultados classificados entre condição boa e razoável, em 2015 e 2016, respectivamente.

No monitoramento de bacias urbanas e rurais, relacionado a qualidade da água da bacia do Mourão, centro-oeste do Paraná, desenvolvido por Passig *et al.* (2015), é registrado em todas as amostras a presença de coliformes fecais nas águas, indicando contaminação por animais de sangue quente ou esgoto, com 90% das amostras com valores acima de 1.000 MPN / 100 mL. Salienta-se que os valores inerentes ao canal do rio estudado, assim como o da bacia Mourão, apresentam-se com concentração de coliformes termotolerantes acima de 1.000 UFC / 100 mL.

Os mesmos autores verificam valores inferiores a 10 mg/L de nitrato e apenas em 10% das amostras foi detectado valores de amônia, superiores à concentração estabelecida na legislação. Nos valores encontrados na área em estudo, têm-se medidas de concentração tolerável conforme a Resolução CONAMA 357/05.

Na caracterização dos parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil, desenvolvido por Piratoba *et al.* (2017), os valores da dureza de CaCO₃ se classificaram com menor valor para o período chuvoso. Logo, os dados deste estudo apresentaram teores mais elevados de dureza, com valor variando entre 21 e 26 mg/L, em 2015, 15 e 40 mg/L em 2016, e 37,09 mg/L em 2018, se comparados com o resultado do estudo realizado pelos autores citados acima.

Franco *et al.* (2010), através de diagnóstico da concentração de ferro nas águas superficiais e seus impactos para a irrigação na região noroeste paulista, detectaram valores

médios de ferro total de 1,32 mg/L, com um máximo de 9,4 mg/L, tanto na estação chuvosa como no período seco, sendo significativo no córrego do Coqueiro. Com o monitoramento das águas do rio em estudo, foi detectado concentração de ferro de variando entre 0,4 e 2,6 mg/L, e 0,3 a 1,6 mg/L, nos anos de 2015 e 2016 respectivamente, para o ano de 2018, não houve evidência de teor de ferro nas águas do Rio Parnaíba, trecho urbano de Teresina.

Os resultados da análise microbiológica da água do Rio São Lourenço, em São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul, desenvolvida por Vasconcello *et al.* (2006), confirmam que em todos os pontos de coletas, as águas do rio são impróprias para o consumo humano ou animal, pois apresentou concentração de coliformes totais e termotolerantes acima do permitido pela Legislação. Similar em relação aos resultados verificados no rio em estudo, os teores de coliformes totais variam entre 2.400 e 87.000 UFC/100 ml, no ano de 2015, 2.400 e 98.000 UFC/100 ml em 2016, e 12.800 e 9.760 UFC/100 ml, em 2018. Os coliformes termotolerantes registram concentração entre 41 e 27.000 UFC/100 ml, em 20015, 200 e 2.300 UFC/100 ml em 2016, e 1.680 e 3.680 UFC/100 ml em 2018.

Todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas, analisados no ano de 2018, encontram-se com valores aceitável pela Resolução CONAMA 357/05, a exceção de alguns destes que tem seus valores aumentados no ponto de coleta a jusante do fluxo, como a Condutividade Elétrica com 208 μ S/cm, que além de aumentar seu valor em relação a montante, ultrapassa o valor estabelecido pela CETESB (2009). Os Coliformes Totais apresentam-se com altos valores a montante do canal, há uma redução a jusante. Os Coliformes Termotolerantes têm altos valores, no entanto, no horário da tarde, há um aumento tanto a montante, quanto a jusante.

Todos os pontos de coletas de água para análise estão contaminados por Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais.

Ao fazer a correlação de Pearson com alguns parâmetros físico-químicos, percebe-se que o elemento nitrato é influenciado pela vazão e temperatura, e os coliformes termotolerante são influenciados pela pluviosidade e vazão.

- **A problemática da poluição hídrica em Teresina**

A ação dos efluentes para as águas do Rio Parnaíba, considerando que cerca de 88% dos esgotos analisados caem diretamente no rio sem qualquer tratamento.

Silva *et al.* (2017), em um monitoramento de parâmetros físico-químicos para avaliação do efluente tratado proveniente de uma ETE-AP, salienta que o pH está entre 5,6 e 6,3, dentro

das especificações exigidas segundo a Resolução do CONAMA. Na mesma análise, verificou que o nitrogênio apresentou valores mínimos de 0,028%, e permaneceu constante nas amostras, indicando um índice baixo desse nutriente e a temperatura está inferior a 40 °C. Em relação aos resultados encontrados nas amostras dos esgotos da área em estudo, têm-se pH variando entre 6,62 e 7,54. Com relação ao nitrogênio, em nenhuma das amostras foi detectado amônia, porém em todas elas, foi encontrado nitrato. O nitrito, não foi detectado em dois dos esgotos analisados (Areias e Bolinha), nos bueiros (Balão da CEPISA, Ponte da Amizade, Carvalho, Iate Clube e ETE), foram encontrados nitrito.

Oliveira *et al.* (1999), analisaram esgotos na cidade de Campina Grande, verificando que a condutividade elétrica variou de experimentos, havendo a diminuição na condutividade do esgoto bruto de um experimento e de esgoto de maturação em outro. Da mesma forma têm-se variação de condutividade elétrica com maior valor para os efluentes tratados (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$) no rio em estudo.

- **Sedimentologia do Rio Parnaíba**

Os resultados expressos da avaliação de vulnerabilidade ambiental, estão relacionados ao processo de assoreamento do rio. Vale destacar que, a morfologia do canal do rio pode ser justificada pela teoria de Scherer (2008), como o resultado de uma interrelação entre processos erosivos e deposicionais, efetivando acúmulo de sedimentos. Por fim, a presença de depósitos sedimentares no rio, destaca-se pela dispersão em todo o percurso do canal na área urbana, representados ora como barras de pontal, ora como barras de canal.

Considerando como procedente as ações antrópicas locais, responsáveis por processos erosivos, tem-se como consequência uma acumulação de sedimentos sob as condições de uma topologia fluvial de baixo declive.

Como se sabe, é possível que este trecho do canal do rio já tenha se caracterizado como uma área de perfil de equilíbrio, controlados pelos fatores alocíclicos desse sistema, porém, atualmente é verificado uma acumulação de sedimentos em seu leito, justificando que houve um deslocamento do perfil, Scherer (2008, p. 110), diz:

A aggradação e conseqüentemente acumulação fluvial, ocorrerá durante intervalos de subida do perfil de equilíbrio, enquanto os processos de erosão e degradação fluvial estão associados a períodos do rebaixamento do perfil de equilíbrio.

Assim, a energia que atua no canal não está equilibrada, comprovadas pela sequência de deposição sedimentar atual.

Um importante aspecto para testemunhar a influência das ações local são as fácies de sedimentos dispostas no canal, que apresentam componentes característico da área. Mesmo verificando sedimentos de origem mais distantes, é perceptível o aglutinamento de elementos, ou partículas nas fácies derivada dos diques marginais. Sob esta perspectiva, pressupõe-se que há interferência local dos indicadores ambientais externos ao canal do rio.

Nos resultados encontrados por Brito *et al.* (2009), sobre a granulometria dos sedimentos do rio Urumajó, nordeste paraense, para todas as estações, o principal tamanho de grão transportado é areia média (0,25 a 0,5 mm de diâmetro), diferentemente dos resultados de granulometria do rio em estudo, cuja classificação de todas as amostras foram sedimentos variando entre silte grosso e areia fina. A classificação granulométrica da área não apresenta uma padronização de sedimentos, variando entre três categorias, silte grosso (23,3%), areia muito fina (51,8%) e areia fina (24,9%).

Torrisi *et al.* (2016), constatou que nas amostras do perfil feito no rio Canela (afluente da margem direita do Rio Pirabeiraba, Santa Catarina), possuindo aproximadamente 4 metros de altura, separadas por camadas, há uma predominância de silte e argila nos estratos superior e inferior, chegando acima de 60% no superior, no estrato intermediário, predomina a fração granulométrica areia grossa (até 55%), indicando assim, que o rio passou por um período de menor energia de fluxo, seguido de um com maior energia e, posteriormente, voltou a assumir menor energia. Embora suas análises tenham sido em área de planície, os resultados encontrados, descreve suas características nos períodos de sedimentação.

Em uma correlação com os dados gerados pelas análises das amostras do Rio Parnaíba, verifica-se que no período estudado apresentou alta energia, considerando que o teor de silte é muito baixo, com apenas 23,3% de frequência.

O grau de assimetria dos sedimentos analisados se configura com uma distribuição de valores igualmente classificado em partículas finas (assimetria positiva) e partículas grosseiras (assimetria negativa). Duane (1964), em seu estudo em Pamlico Sound, na Carolina do Norte, constatou que valores negativos de assimetria refletem áreas em processo de erosão, enquanto valores positivos refletem áreas em processo de deposição.

Os dados sobre a curtose dos sedimentos no rio estudado, demonstram a predominância de valores em curtose baixa a muito baixa, cerca de 49%, sobre curtose alta a muito alta a cerca de 37%. Suguio (1973), aponta que os valores de curtose muito altos ou muito baixos podem indicar que um determinado material foi selecionado em uma área de alta energia e

transportados sem mudanças das características para um outro ambiente, se misturando assim, com outro sedimento, possivelmente de baixa energia.

Com relação ao grau de arredondamento dos grãos, Silva *et al.* (2015), apresentam em sua pesquisa nas praias do litoral da Ilha de Itamaracá (PE) predominância de grãos de quartzo sub-angulosos, em toda área de estudo com (75%) do total, indicando que esses grãos podem ter sido submetidos a um intenso desgaste abrasivo. Embora as análises do autor acima descrito tenha sido amostras de praias, as amostras analisadas do canal do rio em estudo, constitui-se de importantes características para uso de comparação entre os dois ambientes. Todavia, o grau de arredondamento das areias do rio caracteriza-se como grãos sub-arredondados à sub-angulosos.

De acordo com a análise morfoscópica dos sedimentos em estudo, o mineral predominantemente é o Quartzo (QZ), verificados nos pontos 1, 10, 28, 48 e 49, e uma pequena quantidade de Minerais pesados, todos com considerável tempo de transporte, sedimentos maduros, sendo estes transportados por meio aquoso.

- **Batimetria do Rio Parnaíba**

O enigmático sistema ambiental pode ser considerado complexo e desafiador em decorrência do mal uso. Abordar as questões sobre deposição de material sólido em leito de rios requer intensa atividade de mapeamento do canal fluvial.

Entre os fatores passivos de ocorrência de desastres ambientais, o equilíbrio de um canal fluvial é limitado por ações que restringem sua dinâmica. Questões como a erosão fluvial se caracterizam como problema que carecem de mecanismos que auxiliem na retomada do equilíbrio das áreas.

Esta constatação evidencia-se no canal do rio em estudo, que exhibe vultosos bancos de areia em seu leito, os quais resultou da deposição de sedimentos ao longo de alguns anos. Sua formação é devido a dinâmica da corrente fluvial, onde cada barra representa um depósito sedimentar, descritas com uma denominação associada à sua localização. São identificadas observadas o desenvolvimento de vegetação.

Costa *et al.* (2016), enfatiza a influência da deformidade sedimentar instável, apresentando um padrão hidrodinâmico intenso motivado pelas oscilações das águas no Rio Madeira. Observa-se que o rio em estudo, é influenciado pela deformidade sedimentar, em razão do baixo padrão hidrodinâmico. O intenso aporte de sedimentos é o fenômeno causador do assoreamento do Rio Parnaíba.

No que tange a profundidade de rios, Barbosa *et al.* (2015), ao fazer levantamento batimétrico do Rio Madeira na área urbana de Porto Velho verificou as profundidades próximas de 60,0 m, em cotas baixas, tendo a margem esquerda as menores profundidades. Em relação aos resultados batimétricos do rio em estudo, os valores de profundidade variam entre -0,01 e -13,0 metros, destacando a margem direita, com as menores profundidades do canal.

5 CONCLUSÃO

As observações dos dados levantados e as análises desenvolvidas nesta pesquisa permitiram que se chegasse as seguintes conclusões sobre os aspectos ambientais, as características sedimentológicas e batimetria do trecho urbano do Rio Parnaíba, em Teresina, Piauí:

VULNERABILIDADE

- Face a explanação dos resultados das análises de vulnerabilidade ambiental verificada em cada setor do rio no trecho urbano de Teresina, é fundamental enfatizar que todo o canal do rio na referida área está sob uma taxa de vulnerabilidade em decorrência das ações antrópicas sobre a Área de Preservação Permanente, delimitada pela Lei nº 12.727, de 2012.
- Ao analisar as quatro zonas compartmentadas em setores, delimitadas por características peculiares a cada uma, têm-se para os setores Sul e Norte 2, médio índice de vulnerabilidade ambiental, com IVA 5,7 e 5,6 respectivamente, e os setores Centro e Norte 1, estão sob as condições de uma alta vulnerabilidade, com IVA 6,64 e 6,4 respectivamente, estando diretamente associados às ações antrópicas.
- O perigo estimado para cada setor está associado a um baixo perigo para os setores Sul, Norte 1 e Norte 2, com valores de 0,27%, 0,37% e 0,33%, respectivamente. O setor Centro caracteriza-se com valor de 0,4%, ou seja, área com médio perigo de desastres.
- O perigo estimado mais comuns para o rio em cada setor, está relacionado a inundações da APP, erosão das margens e assoreamento do canal.
- Verificou-se uma estimativa de risco para os quatro setores, sendo o setor Centro, o único representante de área de médio risco, cujo valor concentra-se em 4,25%. Os setores Sul, Norte 1 e Norte 2 se destacam com um risco baixo a desastres ambientais, sendo 1,54%, 2,4% e 1,9% respectivamente.

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARNAÍBA

- Os parâmetros físicos da água: turbidez, condutividade elétrica e temperatura, verificados nos anos de 2015 e 2016, apresentam valores aceitáveis para consumo, apesar de não haver regulação para o uso de condutividade elétrica e temperatura.

- Os parâmetros químicos da água estudada nos anos de 2015 e 2016, encontram-se alterados, alguns acima dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio, com valores variando entre 6 e 7 mg/L, entre os meses de fevereiro, março, julho e agosto de 2015, no ano de 2016, somente o mês de janeiro ultrapassou o limite, com 7 mg/L. O teor de Ferro tem concentração acima de 0,3 mg/L, em todos os meses dos anos de 2015 e 2016, à exceção do mês de setembro de 2016, cujo valor é 0,3 mg/L. As maiores concentrações estão nos meses de março e abril de 2015, com 2,6 e 1,6 mg/L, respectivamente, e fevereiro e março de 2016, com 1,6 e 1,4 mg/L, respectivamente.
- O pH, a Alcalinidade, a Dureza, a Amônia, o Nitrito e o Nitrato têm suas concentrações aceitáveis baseado na mesma Resolução.
- Com relação aos dados microbiológicos das águas, para os anos de 2015 e 2016, foram encontrados altos valores tanto de coliformes totais como de coliformes termotolerantes.
- O valor encontrado para o Índice Geral de Qualidade da Água (IQA), nos anos de 2015(44%) e 2016 (56%), evidenciou qualidade razoável e boa respectivamente.
- Todos os parâmetros físico-químicos das águas, analisados no ano de 2018, encontram-se com valores aceitável pela Resolução CONAMA 357/05, a exceção de alguns destes que tem seus valores aumentados no ponto de coleta a jusante do fluxo, como a Condutividade Elétrica (208 $\mu\text{S}/\text{cm}$), que além de aumentar seu valor em relação a montante, ultrapassa o valor estabelecido pela CETESB (2009), que é 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Os valores encontrados para Coliformes Totais variaram entre 8.400 a 13.280 UFC/100 mL. Os Coliformes Termotolerantes variaram entre 1.680 a 3.760 UFC/100 mL.
- Todos os pontos de coletas de água para análise estão contaminados por Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais.

ESGOTOS

- As análises dos esgotos processaram-se a partir da quantificação do volume de efluentes que caem no canal do rio. Com os dados de sete bueiros, verificou-se que seu volume não provoca danos à calha e não supera a vazão do rio, concluído a partir do valor estabelecido pela Resolução CONAMA 430/11. Este volume variou de 0,00003 m^3/s a 0,003 m^3/s no horário da manhã e 0,0002 m^3/s e 0,004 m^3/s à tarde.

- No bueiro Areias identifica-se a maior concentração de efluentes lançados, com 0,003 m³/s no horário da manhã e 0,004 m³/s à tarde. A menor concentração foi verificada no bueiro Bolinha com valor de 0,00003 m³/s no horário da manhã.
- Os bueiros (Areias, Balão da CEPISA e ETE), aumentam cerca de 20% de sua condutividade, três deles (Ponte da Amizade, Carvalho e Bolinha), superam 50% do valor verificado no horário da manhã, que tem concentração variando entre 224 µS/cm a 750 µS/cm.
- O bueiro da ETE registra uma equiparação de valores de condutividade elétrica nos dois horários de coleta, com 750 µS/cm, pela manhã e 736 µS/cm, à tarde.
- O maior valor de pH registrado pela manhã do bueiro ETE foi de 7,14, e o menor valor foi de 6,72. no bueiro Bolinha. Comparado com os valores da coleta feita a partir do meio-dia, todas as amostras se encontram com pH entre 7,06 e 7,54, à exceção do efluente do bueiro Areias, que registrou pH de 6,62. Os resultados encontram-se de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011.

SEDIMENTOLOGIA

- Com relação a distribuição dos depósitos aluviais, confere-se cerca de 14 bancos de areia, ora adicionando, ora deslocando areias dos bancos, movimentando-se à jusante, confirmando uma predominância de bancos no meio do canal, em torno de 12 depósitos.
- As características sedimentares do canal do rio apresentam-se fracionada em cascalhos, areia e lama.
- constatou-se que há predomínio de materiais de granulometria arenosa, com frações que correspondem a lama 23,3%, areia muito fina (51,8%), e areia fina (24,9%) da granulação.
- A fração cascalho, tem participação muito pequena nas amostras analisadas. O ponto P1 (margem direita/montante do trecho urbano), concentra a maior percentagem da fração cascalho na amostra que é 9,7%, e o P28 (meio do canal / aproximadamente 190 m a jusante da ponte Metálica), concentra a menor percentagem de cascalho com 0,2%.
- De todas as amostras, 14% analisadas contêm cascalho. A área em estudo apresenta baixa concentração de cascalhos, localizados nos pontos: P1 (9,7%), P10 (1,6%), P13 (1,1%), P16 (0,3%), P28 (0,2%), P29 (0,5%) e P48 (0,7%),
- A fração areia correspondente a areia fina e areia muito fina com ocorrência em todas as amostras. Entretanto, 49% das amostras são classificadas como areia fina e, 32,6% são areia muito fina.

- A lama representa 23,3% dos sedimentos analisados nas amostras. Dos quais estão distribuídos em proporções diferenciadas em cada ponto das análises, sendo que 53% dos sedimentos têm um valor inferior a 20% de lama. 38,8% têm uma representatividade variando entre 20% e 80% e apenas 8,2%, é representada por mais de 80% de lama.
- O ponto P24, localizado na margem direita do canal, tem a maior percentagem de lama com 88,5% da fração, e o ponto P7, localizado no meio do canal, tem a menor percentagem de lama com 0,1%.
- Os pontos com maiores quantidades de lama localizam-se às margens do rio, por conseguinte, dos três pontos que contém mais de 80% de lama, dois P(26; 38) estão na margem esquerda, associados à caracterização urbana de Timon (MA).
- Nas características sedimentares normais do rio, a areia muito fina é a principal classe granulométrica encontrada, localizada na margem direita do canal, com 66,7%. Há somente 11,1% de lama e, 22,2% de areia fina. No meio do canal, há predominância de areia fina (76,5%). A areia muito fina corresponde a apenas 23,5% dos sedimentos. Com relação aos sedimentos da margem esquerda, destaca-se areia muito fina (57,2%), sobre a areia fina, com apenas 35,7% e, lama (7,1%).
- Foram observados na margem direita do canal uma clara tendência de os sedimentos das amostras serem moderadamente selecionados (75,5%). São classificados em (77,8%) moderadamente selecionados, (11,1%) bem selecionados e pobremente selecionados.
- Na margem esquerda os sedimentos apresentam (70,6%) moderadamente selecionados, (21,4%) sedimento bem selecionados, não havendo ocorrência de sedimentos pobremente selecionados. O meio do canal se caracteriza com (78,6%) de sedimentos moderadamente selecionados, (23,5%) sedimentos bem selecionados e apenas (5,9%) representam sedimentos pobremente selecionados.
- A curva de frequência simples (gráfico 10), demonstra um grau de relação aproximadamente simétrica, destacando os valores da média e mediana praticamente iguais em todos os pontos estudados.
- Os resultados da curtose, correspondem aos valores (16,3%) muito leptocúrtica, (20,4%) leptocúrtica, (14,3%) muito platicúrtica, (34,7%) platicúrtica e (14,3%) mesocúrtica. Todas as curvas destacadas classificam os sedimentos como bem ou maus selecionados.
- Não há um padrão de granulação nos quatro primeiros quilômetros da margem direita do rio. Iniciando com areia fina, intercalada com areia muito fina. Prosseguindo a margem, têm-se silte, seguido de três pontos de amostras com areia muito fina, e assim sucessivamente.

- A característica granulométrica da margem esquerda refere-se a silte e areia muito fina, intercaladas. Há apenas um ponto cuja granulometria é classificada como areia fina, podendo ser justificada pela presença de um córrego a montante da coleta.
- O caráter cumulativo de areia fina no meio do rio, remete uma área de alta energia, a exceção de quatro pontos cuja granulometria se constitui de areia muito fina, justificada pela presença de bancos de areia.
- Em relação as sucessivas ocorrências de pontos consecutivos apresentarem a mesma classificação granulométrica, aflora a possibilidade de estabilidade da dinâmica do rio, ou seja, no referido trecho não haver alteração no fluxo do rio.
- A constatação verificada através da escala granulométrica evidencia-se que a acumulação de sedimentos finos é convalidada em ambientes de baixa energia e sedimentos mais grossos é detectado em ambientes de alta energia.
- No canal do rio predomina sedimentos classificados em areia muito fina correspondente aos setores Centro, com onze pontos de amostras, Norte 1, com cinco pontos e Norte 2 com quatro pontos. O setor Sul predomina areia fina com cinco pontos de amostras, sobre quatro de areia muito fina e três de silte.
- Vinculados a análise estatística dos dados granulométricos dos sedimentos, ao se considerar os valores de curtose, conclui-se que os sedimentos classificados em muito leptocúrtica e muito platicúrtica, estão nos pontos (1, 2, 4, 6, 7, 19, 20, 21, 22, 25, 28, 33, 34, 36 e 39), sugere material de área de alta energia, transportado sem alterações de suas características.
- A variação entre negativa e positiva dos sedimentos da área, assegura a afirmativa de áreas específicas como nos pontos (1, 2, 7, 9, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 30, 33, 36, 38, 40, 41 e 48) estarem em processo de erosão e os pontos (3, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 19, 20, 28, 32, 34, 35, 37, 39, 42, 43, 45, 46, 47 e 49), estarem em processo de sedimentação.

BATIMETRIA

- Através de estudos batimétricos é identificado a presença de estruturas emersas e submersas no canal do rio. As ocorrências de depósitos arenosos são impulsionadas pela redução de vazão nos períodos de estiagem.

- A ocorrência de depósitos arenosos (14), são provas do assoreamento do rio, podendo estar anulando a energia do fluxo fluvial e conseqüentemente promovendo a diminuição de sua profundidade.
- Ao longo do canal do rio, as seções batimétricas exibem perfis com larguras e profundidades diferenciadas. A menor profundidade verificada é -0,01 metros nas seções: Sede Agrícola, Santa Rosa, Curva Poty, Beira Rio e Porto. A maior profundidade foi verificada na seção Fazenda São Gonçalo, com -13,0666 metros.
- Para as profundidades mínimas e máxima de cada seção destaca-se: PCD (-0,701; -7,9644) Ponte Tabuleta (-0,5569; -8,7233) Gil Martins (-0,1977; -8,3539) Valter Alencar (-0,8068; -7,9891) Prainha (-0,8068; -8,0828) Centro Administrativo (-1,7338; -8,0828) Balão da CEPISA (-1,337; -8,3995) Ponte da Amizade (-0,0658; -9,5944) Troca-Troca (-0,4809; -8,9702) Ponte Metálica (-0,411; -10,4976) Iate Clube (-0,5316; -9,9458) Universidade Estadual – EU (-0,745; -7,6917) Estação de Tratamento de Esgoto – ETE THE (-0,1676; -9,6043) Academia Melhor Idade – AMI (-0,1676; -8,9687) Monumento Direito Humano – MDH (-0,08; -8,3343) Lagoas do Norte (-0,08; -9,33) Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Timon (-1,7266; -9,6863) Horta (-0,3214; -10,9865) Bar do Velhinho (-2,4014; -9,6485) Encontro dos Rios (-0,9778; -9,7077) Barra das Pombas (-0,8347; -10,4927) Sede Agrícola (-0,01; -10,2293) Santa Rosa (-0,01; -6,2201) Parque Brasil (-0,2; -6,2201) Curva Poti (-0,01; -9,5404) Beira Rio (-0,01; -9,5404) Porto (-0,01; -11,5989) e Fazenda São Gonçalo (-0,7821; -13,0666)
- Algumas profundidades identificadas nos perfis podem ser justificadas pela existência de atividades que retira sedimentos do canal, colaborando para existência de desníveis profundos como nas seções PCD (margem esquerda), Lagoas do Norte (margem direita), Barra das Pombas (margem esquerda), Beira Rio (margem direita), Porto (margem direita) e Fazenda São Gonçalo (margem direita).
- A profundidade do rio varia em todo o canal, estando menos profundo onde há acúmulo de sedimentos e mais profundo onde há sua retirada.
- Com relação a largura do rio, tem-se a seção Ponte Metálica com 176,9 metros, sendo o trecho de menor largura, o trecho de maior largura está na seção Barra das Pombas, com 708,2 metros.
- A largura do rio aumenta em direção a jusante, a partir de áreas mais assoreadas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, G. S. **Análise têmporo-espacial da relação entre a cobertura do solo e a temperatura de superfície na cidade de Teresina (PI) mediante o uso de geoprocessamento.** 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Piauí, 2016.
- ADRIÃO NETO. **Geografia e História do Piauí para Estudantes – da Pré-História à Atualidade**, 4ª edição. Teresina: Edições Geração 70, 2006.
- ÁGUAS E ESGOTOS DO PIAUÍ S/A. – AGESPISA. **Boletim de Análise Físico-químico / Bacteriológico / Hidrobiológico.** 2015 - 2016.
- ÁGUAS E ESGOTOS DO PIAUÍ S/A. – AGESPISA. **História da AGESPISA.** Disponível em: <http://www.agespisa.com.br/site/pages/public/aAgespisa.jsf>. Acesso em: 10/10/2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012.** Brasília: ANA, 2012. 264 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Séries histórica HIDROWEB.** Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf. Acesso em: 04/03/2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Indicadores de Qualidade – Índice de qualidade das Águas (IQA).** Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 20/09/2017.
- ALMEIDA, F.F.M.; BRITO NEVES, B.B.; CARNEIRO, C.D.R. **The origin and evolution of the South American Platform.** Earth Science Reviews, 2000. 50: 77-111.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Beca, 2004. p.43-58.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação / Otávio Álvares de Almeida.** - Dados eletrônicos. - Cruz das Almas : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION -APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20 th Edition. Washington D.C.: American Public Health Association, 2005.
- ANDRADE, L.C.R.D. **Estudo de influência do meio físico e das atividades antrópicas na qualidade das águas na sub-bacia do Córrego Palmital.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2010.
- ANDRADE, N. J. **Higiene na indústria de alimentos: avaliação e controle da adesão e formação de biofilmes bacterianos.** São Paulo: Varela, 2008.
- ARAUJO, M. C. de; OLIVEIRA, M. B M. de. Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 2013. v.

8, n. 3. p. 247-257. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1192>. Acesso em: 2018.

ARAUJO, R. N. **Depósitos lacustres rasos da Formação Pedra de Fogo, Permiano da Bacia do Parnaíba, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

ASMUS, H.E. Área Oceânica. *In*: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. (Coord.). **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais; escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, 1984. p: 423-489.

BACCAN, N.; ANDRADE, J.C.; GODINHO, O. E. S.; BARONE, J. S. **Química analítica quantitativa elementar**. 3ª edição revisada, ampliada e reestruturada. Blucher. 2001.

BAHIA, V.E.; FENZL, N.; LEAL, L.R.B; MORALES, G.P.; LUIZ, J.G. **Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga – Belém (PA)**. Águas Subterrâneas, 2011. v. 25, n.1. p. 43-56.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARBIERI, E.; MARQUES, H. L. A.; BONDIOLI, A. C. V.; CAMPOLIM, M. B.; FERRARINI, A. T. **Concentrações do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato em áreas de engorda de ostras no município de Cananeia-SP**. O Mundo da Saúde, São Paulo. 2014. p. 105-115. DOI: 10.15343/0104-7809.20143801105115.

BARBOSA, É. N.; CÓRDOBA, V. C.; SOUSA, D. C. **Evolução estratigráfica da Sequência Neocarbonífera-Eotriássica da Bacia do Parnaíba, Brasil**. *Stratigraphic evolution of the UpperCarboniferous-Lower Triassic Sequence, Parnaíba Basin, Brazil*. Brazilian Journal of Geology, June 2016. 46(2): 181-198, DOI: 10.1590/2317-4889201620150021

BARBOSA, F. A. R.; BUFFON, F. T.; BEZERRA, S. R.; GOMES, W. R. **Levantamento batimétrico do Rio Madeira na área urbana de Porto Velho após a cheia histórica de 2014**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília-DF, 2015. p. 1-8.

BARBOSA, M. J. O. **Estudos sedimentológicos do estuário do rio Timbó-PE**. 2006. Dissertação (Mestrado, Pós-graduação em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. PE, 2006.

BARROS, L. C.; VALENÇA, L. M. M; MANSO, V. A. V.; MADRUGA FILHO, J. D.; OLIVEIRA, J. A. R. **Textura, composição e arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras Sul do canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco**. Estudos Geológicos, 2007. v. 17 (1), p. 58-70.

BAUR, L. **Estudo e identificação de nitrogênio em efluentes de curtume**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2012. p. 136.

BRASIL. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF. **Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba**, PLANAP: síntese executiva: Território Entre Rios / companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF. – Brasília, DF: TDA Desenhos & Arte Ltda., 2006.

_____. **Decreto nº 7.257, de 4 de agosto de 2010**. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2010/decreto-7257-4-agosto-2010-607732-normaatualizada-pe.pdf> . Acesso em 21/05/2018.

_____. **Decreto nº 4.367, de 9 de setembro de 2002**. Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4367.htm. Acesso em 21/05/2018.

_____. **Emenda Constitucional Nº 1, de 17 de outubro de 1969**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc_anterior1988/emc01-69.htm. Acesso em 21/05/2018.

_____. **Lei Complementar nº 112, de 19 de setembro de 2001**. Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp112.htm. Acesso em 19/05/2018.

_____. Ministério da Integração Nacional. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do Parnaíba e São Francisco – CODEVASF. **Plano de Ação Integrado e Sustentável para a RIDE Grande Teresina**. Produto II: Diagnóstico Situacional Participativo. / Ministério da Integração, CODEVASF, Governo do Estado do Piauí. – Teresina: Empresa Expansão Gestão em Educação e Eventos, 2013.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.

_____. Ministério da Saúde. **PORTARIA MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Série E. Legislação de Saúde. Brasília, DF. 2012. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/PortariaMS291412122011.pdf. Acesso em: 01/05/2019.

_____. Ministério do Meio Ambiente. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 430. 31 de maio de 2011**.

_____. Ministério do Meio Ambiente. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 357,17 de março de 2005**. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 19/05/2017.

_____. Presidência da República. **LEI nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm. Acesso em 10/10/2018.

_____. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para o consumo**. Brasília, 2006. 212 p.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Rima, 2003.

BRITO, R. N. R.; ASP, N. E.; BEASLEY, C. R.; SANTOS, H. S. S. **Características Sedimentares Fluviais Associadas ao Grau de Preservação da Mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense**. Acta Amazonica, 2009. v. 39 (1): 173 – 180.

CABRAL, C. B. **Avaliação da qualidade das águas do Alto Rio Maranhão e do EIA/RIMA de um empreendimento minerário adjacente** (Estudo de caso). 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São João del-Rei Ouro Branco – MG, 2013.

CABRAL, J. J. S. P. Movimento das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações / organização e coordenação científica / FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. – 3ª ed. ver. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008.**

CAMARGO G.M. **SysGram: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento**. Revista Brasileira de Geociências, 2006. 36 (2). 371-378.

CANDIDO, L. O. **Avaliação do Índice de Qualidade das Águas na área urbana da bacia hidrográfica do Rio Mourão, Paraná**. Universidade Tectonológica Federal do Paraná – UTFP. Campo Mourão, Paraná, 2015.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. Thesis (Doctorate) – University of Califórnia, Santa Bárbara, 1984. 586 p.

CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba**. Fundação Paleontológica Phoenix, Aracaju, Sergipe, Brasil. setembro 2005. Ano 7, n. 8. ISSN 1517-7351.

CAPUTO, M.V.; LIMA, E.C. **Estratigrafia, idade e correlação do grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba**. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, 1984, Rio de Janeiro, Anais..., Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 2, p. 740-753.

CASTRO, J. C. Glaciações Paleozócas no Brasil. *In*: MANTESSO NETO, BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. B. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 150-163. Cap. IX.

CASSETI, V. – **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto; 1991. – (coleção ensaios).

CHAVES, Mons. **Obra Completa; Prefácio de Teresinha Queiroz** – Teresina: Fundação Cultural Monsenhor Chaves. Center Gráfica e Editora Ltda. 1998. 639 p.

CHURCH, M. **Geomorphic thresholds in riverine landscapes** *Freshwater. Biol.*, 2002. 47, 541-57.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Procedimento para coleta de amostras de água**. 1987.

_____. **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: <https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/> Acesso em: 10/10/2018.

_____. **Variáveis de Qualidade das Águas**. São Paulo, 2009.

COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). Diretoria de Operação - DO – Superintendência de Operação e Contratos de Transmissão de Energia – Soc. Departamento de Recursos Hídricos e Estudos Energéticos – DHE. Divisão de Gestão de Recursos Hídricos - D O R H. **Sistema de Controle e Gerenciamento de Dados Hidrológicos**. Dados disponibilizados em: 10/02/2017.

CORDEIRO NETO, J.; THEBALDI, M. S.; VILELA, N. M. S.; SILVA, A. V.; MARTINS, I. P. **Qualidade da água da Lagoa do Josino, em Formiga (MG)**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, jun. 2017. v. 9, n. 2. DOI: 10.18406/2316-1817v9n22017998.

COSTA, N. S.; NAHUM, C.; DEUS, R.; NEVES, R. **Utilização da batimetria na logística fluvial de derivados de petróleo no trecho Manaus – Porto Velho**. XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. 2016. Disponível em: <http://meioambientepocos.com.br/>. Acesso em: 10/10/2018.

COSTA, S. S. L. **21 Fotografia il. color digital**. Área urbana de Teresina-PI, 2018.

_____. **28 fotografias color digitais**. Canal do Rio Parnaíba, área urbana de Teresina-PI, 2019.

_____. **15 gráficos il. Color**. Característica climática e sedimentológica do canal do Rio Parnaíba em Teresina-PI, 2017.

_____. **61 gráficos il. Color**. Classificação ambiental, físico-química e batimétrica do Rio Parnaíba, 2018.

_____. **4 gráficos il. Color**. Águas do Rio Parnaíba na área urbana de Teresina-PI, 2019.

_____. **13 quadros il**. Aspectos ambientais e batimetria do Rio Parnaíba na área urbana de Teresina-PI, 2018.

_____. **4 quadros il**. Aspectos ambientais, área urbana de Teresina-PI, 2019.

_____. **17 tabelas il. Color**. Aspectos ambientais, do Rio Parnaíba na área urbana de Teresina-PI, 2018.

COSTA; S. S. L.; LIMA, I. M. M. F. **Mapa batimétrico** – Teresina (Piauí) – área urbana. 2018.

_____. **Mapa de localização** – Teresina (Piauí) – área urbana. 2018.

_____. **Mapa de Declividade** – Teresina (Piauí) –2018.

_____. **Mapa barras de sedimentos na calha do rio Parnaíba** – trecho urbano de Teresina (Piauí). 2019.

_____. **Mapa Pontos de coletas de água e esgoto para análises físico-químico e microbiológico** – Teresina (Piauí). 2019.

_____. **Mapa Teresina (Piauí)** – Pontos de coletas de sedimentos. 2019.

_____. **Mapa Teresina (Piauí)** - Vulnerabilidade Ambiental. 2019.

_____. **Mapa Teresina (Piauí)** – Vulnerabilidade ambiental: Setor Sul, 2019.

_____. **Mapa Teresina (Piauí)** – Vulnerabilidade ambiental: Setor Centro, 2019.

_____. **Mapa Teresina (Piauí)** – Vulnerabilidade ambiental: Setor Norte 1.

_____. **Mapa Teresina (Piauí)** – Vulnerabilidade ambiental: Seção Norte 2.

COSTA; S. S. L.; OLIVEIRA, M. G. **10 gráficos, il. Color**. Parâmetros físico-químico e microbiológico da água e esgotos coletados no canal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina-PI. 2018.

_____. **2 tabelas, il. Color**. Parâmetros físico-químico e microbiológico da água e esgotos coletados no canal do Rio Parnaíba no trecho urbano de Teresina-PI. 2018.

COSTA, S. S. L. e SANTOS, G. G. A. **Quadro il.** Caracterização morfooscópica dos grãos de areia. 2019.

CREMONEZ, F. E.; CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M. CAMARGO, M. P.; KLAJN, F. F.; FEIDEN, A. **Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil**. 2014. Revista Monografias Ambientais – REMOA, dez. 2014, v. 13, n. 5. p. 3821-3830. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria e-ISSN 2236 1308 - DOI:10.5902/2236130814689. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/14689/pdf>. Acesso em: 20/10/2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CRONEMBERGER, M. G. O. **Avaliação da atividade tóxica e mutagênica de amostras de água e de sedimentos do Rio Parnaíba que sofrem influência de resíduos de curtume**. 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. Canoas, 2008.

CRISPIM, J.Q. **Avaliação dos recursos hídricos e o desenvolvimento de métodos qualitativos da avaliação ambiental em estabelecimentos agroecológicos no município de**

Rio Branco do Sul – PR. 2007. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. 303 f.

CUNHA, F. M. B. **Evolução paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico.** 1986. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1986. 107 pp.

CUNHA, S. B da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 7ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. Cap. 5.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L.; **Social vulnerability to environment hazards.** *Social Science Quarterly*, 2003. v. 84, n. 2. p. 242-261.

DELLA FÁVERA, J.C. **Tempestitos da Bacia do Parnaíba.** 1990. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990. 243 p.

DIAS, C. C. **Os caminhos do rio Parnaíba: uma abordagem sobre os problemas ambientais na bacia, a navegabilidade, a capacidade de carga e a batimetria /** Cid de Castro Dias. – Teresina: Alínea Publicações Editora, 2004. 298 p.

Diário Oficial do Estado do Piauí – DOEPI. **Notas explicativas as demonstrações financeiras dos exercícios findos em 31 de dezembro de 2012 e 2011,** 2013. 21 p. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/56925982/doepi-23-07-2013-pg-21?ref=serp>. Acesso em 28/11/2019.

DIAS, J. M. A. **Análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos.** Universidade do Algarve Faro. 2004. E-books. Livros preparados para transferência pela internet. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/eb_Sediment.html. Acesso em: 30/08/2019.

DINO, R.; ANTONIOLI, L.; BRAZ, S. M. N. **Palynological data from the Trisidela Member of Upper Pedra de Fogo Formation (“Upper Permian”) of the Parnaíba Basin, Northeastern Brazil.** *Revista Brasileira de Paleontologia*, São Leopoldo, jan./jun. 2002. n. 3. p. 24-35.

DUANE, D.B. **Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 1964. 34(4), 864-874.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2009.

_____. **EMBRAPA/SUDENE**, 1983. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pi>. Acesso em 02/02/2017.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601 p.

_____. **Fundamentos de limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FEITOSA, Fernando A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações / organização e coordenação científica / Fernando A. C. Feitosa ... [et al.] ...** – 3. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FERNANDES, C. E. M. **Fundamentos de prospecção geofísica**. Rio de Janeiro: Interciência, 1984.

FERNANDES, R. F. **Estudo da evolução termomecânica da Bacia do Parnaíba**. 2011. Dissertação (Mestrado - Programa de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro– UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

FIGUIREDO FILHO, D. B. e SILVA JÚNIOR, J. A. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, 2009.v. 18, n. 1. p. 115-146.

FIGUEIREDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P.P B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2010.

FIGUEIREDO, M.F. de; RAJA GABAGLIA, G.P. **Sistema classificatório aplicado às bacias brasileiras**. *Revista Brasileira de Geociências*, 1986. v.16, p. 351-369.

FIGUR, C. e REIS, J. T. **A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS**. *Ciência e Natura*, Santa Maria, mai - ago, 2017. v. 39, n. 2. p. 352 – 365. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM* ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-460X. DOI:10.5902/2179460X24335.

FOLK, R.L. & WARD, W.C.– **Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain-Size Parameters**. *Journal of Sedimentary Research*, 1957. v. 27, n. 1. p. 3-26.

FONSECA, V.M.M.; MELO, J.H.G. **Ocorrência de *Tropidoleptus carinatus* (Conrad) (Brachiopoda, Orthida) na Formação Pimenteira e sua importância paleobiogeográfica** *In: Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 10, Rio de Janeiro, 1987, Anais..., Rio de Janeiro, v. 2, p. 505-537.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. Berlin: Springer–Verlag. 1983. 486 p.

FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI S.; CUCULIĆ, V.; BILINSKI, H.; HÄUSLER, H.; STADLER, Ph. **Geochemical and stable isotopic variability within two rivers rising under the same mountain, but belonging to two distant watersheds**. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 2013. v. 73, p. 293–308.

FRANCO, R.A.M.; HERNANDEZ, F.B.T.; BARBOZA, G.C.; VANZELA, L.S. **Diagnóstico da concentração de ferro nas águas superficiais e seus impactos para a irrigação localizada na região noroeste paulista**. CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, XX. Uberaba - MG, 6 a 8 de dezembro de 2010.

FRIGO, E. P., SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. L.; NÓBREGA, L. H.; SANTOS, R. F.; MALLMANN, L. S. **Desempenho do Sistema de Gotejamento e de filtros utilizando Água Residuária de suinocultura**. Irriga. Botucatu. jul – set 2006. v.11, n. 3. p 305-318.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. **Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundações**: Estudo de caso do município de rio Negrinho – SC. Bol. geogr., Maringá, 2012. v. 30, n. 1. p. 81-100. Doi: 10.4025/bolgeogr.v30i1.13519.

GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. **A Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 1994. 8(1), 57-67.

GÓES, A. M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da bacia do Parnaíba**. 1995. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. 171 p.

GÓES, A.M.O.; SOUSA, J. M. P.; TEIXEIRA, L. B. **Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, 1990. v. 4, p. 55-64.

GONÇALVES, I. S. **Análise temporal dos bancos de areia do Rio Parnaíba na zona urbana de Teresina-PI utilizando imagens de satélites**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Piauí - UESPI. Piauí, 2017.

GOOGLE. Google Earth Pro. [Mapas]. 2017-2018. Nota (Teresina - Piauí). Acesso em: 2017-2018.

HILL, A. and CUTTER, S. Methods for Determining Disaster Proneness. In Cutter, S. (Ed.) *American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters*, Washington, DC: Joseph Henry Press. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil em síntese / Piauí**. Censo 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 11/02/2019.

_____. **Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba**. RIVAS, Margarete Prates (coordenadora). Ministério do planejamento e orçamento. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro. 1996.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais técnicos em geociências. 2ª edição. Revista e ampliada. Rio de Janeiro. 2012.

_____. **Manual técnico de uso da terra**. Manuais técnicos em Geociências. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. n. 7.

_____. 2017. v. 4.3.8.10. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/teresina/panorama>. Acesso em 24/06/2018.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000. 1981. 2v, 130 p. (IPT – Publicação, 1183)

INMAN, L. D. **Measures for describing the size distribution of sediments**. Journal of Sedimentary Research, September 01, 1952. v. 22, n. 3. p. 125-145.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> . Acesso em: 30/04/2017

ISDR 2002, **Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**; IFRC (annual) World Disaster Reports; Cannon, T., Twigg, J., Rowell J. 2003. **Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters**, DFID, London, 2003.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, A.C. **Tratamento de Esgotos Domésticos, Concepções Clássicas de Tratamento de Esgotos**. 2ª edição. CETESB, São Paulo, 2005, 544 p.

KINDLEIN, C.P. **Determinação do teor de nitratos e nitritos na água de abastecimento do município de Nova Santa Rita**. La Salle – Unilasalle. Canoas, 2010.

LEAL, J. M. **Inventário Hidrogeológico básico do Nordeste**. Folha nº 8 Teresina NE. Recife, SUDENE – Div. Reprografia, 1977.

LI, A.; WANG, A.; LIANG, S.; ZHOU, W. **Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China**. Ecological Modeling, 2006. v. 192, p. 175–187.

LIBÂNIO, M. **Fundamento de qualidade e tratamento de água**. 4ª Ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética: relatório final da etapa III**. Recife: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1978. 212 p.

LIMA, I. M. M. F. **O Relevo de Teresina, PI: Compartimentação e dinâmica atual**. IX ENANPEG – Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. Goiânia. 8 a 12. out. 2011. Available from:

https://iracildefelima.webnode.com/files/200000031-c9e8ccbd79/mapa%20de%20relevo_iracilde.pdf . Acesso em 25/06/2018.

_____. **Caracterização Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Poti**. 1982. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 1982. 106 p.

_____. Hidrografia do Estado do Piauí, disponibilidades e usos da água. In: AQUINO, C. M. S. A.; SANTOS, F. A. **Recursos Hídricos do Estado do Piauí: fundamentos de gestão e estudos de casos em bacias hidrográficas do centro-norte piauiense**. Teresina: EDUFPI, 2017, cap. 3. p. 43-68. ISBN: 978-85-509-0201-2.

LOUGON, M. S. et al. **Caracterização dos sólidos totais, fixos e voláteis nas águas residuais geradas pela lavagem dos frutos do cafeeiro**. , ES. 2009 a 2010. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (Departamento Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Jerônimo Monteiro, ES, 2009 a 2010.

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, 2010. v. 82, n. 8. p. 742-749.

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas e águas**. 3. ed. atualizada e revisada. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2007.

_____. **Introdução à Química ambiental: Química & Meio ambiente & Sociedade**. 2. ed. atualizada e revisada. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2006.

MAGOSSI, L. R. BONACELLA, P. H. **Poluição das águas**. 2ª ed. Reformulada, Editora Moderna, São Paulo, 2003. 71 p.

MAHLER, R.L., COLTER, A. et al. **Nitrate in Groundwater**. University of Idaho - Extension, 2007.

MANAHAN, Stanley E. **Química ambiental**. 9. ed., Porto Alegre: Bookman, 2013.

MANGE, M. A. & WRIGHT, D. T. High-resolution Heavy Mineral Analysis (HRHMA): A Brief Summary. In: MANGE, M. A. & WRIGHT, D. T. (Coordenadores), **Heavy Minerals in Use**. Oxford: Elsevier, 2007. p. 433-436.

MARCELINO, P. S. **Monitorização de Águas**. 2008. Dissertação (Departamento de Química) – Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2008.

MARQUES, M. N., et al. **Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo**. Quim. Nova, 2007. v. 30, n. 5. p.1171-1178.

MASON, Brian Harold, 1971 – **Princípios de geoquímica**; tradução de Rui Ribeiro Franco. \São Paulo\ Polígono, Editora da USP. 1971.

MATIC, N.; MIKLAVCIC, I.; MALDINI, K.; DAMIR, T.; CUCULIC, V.; CARDELLINI, C. et al. **Geochemical and isotopic characteristics of karstic springs in coastal mountains (Southern Croatia)**. Journal of Geochemical Exploration, 2013. n. 132. p. 90–110. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.007>. Acesso em: 15/12/2018.

MEDEIROS, P. A. e CORDERO, A., **Transporte de Sedimentos em Suspensão em 3 Postos Sedimentométricos da Bacia do Rio Itajaí-Açú**. VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2008.

MENTE, A. A água subterrânea no Brasil. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (org). **Hidrologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro : CPRM : LABHID, 2008. p. 31-48.

MESNER, J. C. & WOOLDRIDGE, L. C. P. **Estratigrafia das bacias paleozoica e cretácea do Maranhão**. B. Tec. Petrobrás, Rio de Janeiro, abr./jun., 1964. 47 (2): 137-64.

METCALF & EDDY, “**Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**”. Mc Graw-Hill International Editions, 3rd ed. 1991.

MILANI, E. J. (Coor); RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; PESSOA NETO, O. C. **Bacias Sedimentares Brasileiras – Cartas Estratigráficas**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, maio/nov. 2007. v. 15, n. 2. p. 183-205.

MONTEIRO, L. R. **Mapeamento das áreas de perigo de inundação no braço do Baú, Ilhota – SC**. Federal de Santa Catarina-UFSC. Florianópolis. 2011.

MONTEIRO, L. R. e KOBIYAMA, M. **Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação**. 2014. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: Available from: <https://www.researchgate.net/publication/262449863>. Acesso em 25/06/2018.

MOREIRA, D. A., et al. **Qualidade das águas de minas no perímetro urbano do município de Ubá-MG**. Multi-Science Journal, 2015.

MORUZZI, R.B.; REALI, M.A.P. **Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral**. Revista de Engenharia e Tecnologia, 2012. v. 04, n.1. p. 29-43.

MOTTA, P. R.; RANGEL NETTO, L.; BASTOS, E. B.; BULHOES, E. M. R. **Distribuição de sedimentos costeiros em ambiente de baixa energia. Enseadas de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. Os desafios da Geografia física na fronteira do conhecimento. UNICAMP, Campinas; São Paulo, 2017. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2171 - ISBN 978-85-85369-16-3.

MULLER, G. *Methods in sedimentary petrography (Part I)*. N. York., Hafner Publishing Co., 1967. 283 p.

NUNES, K.C. *Interpretação Integrada da Bacia do Parnaíba com Ênfase nos Dados Aeromagnéticos*. In: SBGf, **Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica**, 3, Rio de Janeiro, *Anais*, 1993. 152-157.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **Níveis de integração dos municípios brasileiros em RMs, RIDEs e AUs à dinâmica da metropolização**. Rio de Janeiro, 2012. 108 p.

OLIVEIRA FILHO, P.C.D.; DUTRA, A.M.; CERUTI, F.C. **Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná**. Revista Floresta e Ambiente, 2012. v. 19, n. 1. p. 32-43.

OTTO, G.H. **A modified logarithmic probability graph for the interpretation of mechanical analyses of sediments**. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1939. 25: 285- 292.

PAGNAN, A. S. **Técnicas de valorização do quartzo como matéria-prima do território brasileiro a ser aplicado no design de joias**. 2016. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Design) – Universidade do Estado de Minas Gerais- UEMG. MG, 2016.

PASSIG, F. H.; LIMA, S. B.; CARVALHO, K. Q.; HALMEMAN, M. C. R.; SOUZA, P. C.; GUSMÃO, L. K. **Monitoring of urban and rural basins: water quality of Mourão basin**.

Braz. J. Biol., 2015. vol. 75, n. 4. suppl. 2, pp. S158-S164. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.01213suppl>.

PAYNE, J.F.; FRENCH B.; HAMOUTENEC, D.; YEATS, P.; RAHIMTULAC, A.; SCRUTON, D.; ANDREWS, C. **Are metal mining effluent regulations adequate: identification of a novel bleached fish syndrome in association with iron-ore mining effluents in Labrador, Newfoundland.** Aquatic Toxicology, maio, 2001. v. 52, n. 3-4, p. 311-317.

PENHA, H. M. Processos Endogenéticos na formação do Relevo. In GUERRA, A. J.T; CUNHA, S.B da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceito.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 51-92.

PENHA, N. L. J.; OLIVEIRA, S. C.; PEREIRA, D. F. **Análise correlação entre comportamentos de matrizes pesadas e variáveis ambientais.** BioEng, Campinas, set/dez., 2007. 1 (3): 209-217.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks.** 2. ed. New York: Harper & Brothers, 1957. 718 p.

PIAUI. **Lei 4.854, de 10 de julho de 1996.** Dispõe sobre a política de meio ambiente do Estado do Piauí. Legislação piauiense. Piauí, 28 de novembro de 2019. Disponível em:
<https://www.leisdopiaui.com/single-post/2017/02/26/Lei-485496---Pol%C3%ADtica-Ambiental>. Acesso em: 28/11/2019.

PINE, J. C. **Natural Hazard Analysis: Reducing the impact of disasters.** Florida: Taylor & Francis Group, 2008. 314 p.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil.** Rev. Ambient. Água. Taubaté, May / Jun. 2017. v. 12, n. 3. p. 435-456. ISSN 1980-993X – doi: 10.4136.

PIRES NETO, A. G. **As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica: uma proposição metodológica para a geomorfologia.** 1991. Tese (Doutorado, Departamento de Geografia) – USP, 1991. 302 p.

PIVELI, R. P. **Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos** / R.P. Piveli, M. T. Kato. – São Paulo: ABES, 2005.

PONÇANO, W. L, **Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira.** Revista Brasileira de Geociências, 1986. v. 16, n. 2. p. 157 – 170.

POPP, J. H. **Geologia geral** / José Henrique Popp. – 6. Ed. – [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA – PMT. Plano Municipal de saneamento básico de Teresina – PI. **Produto 02** – Diagnóstico da situação do saneamento básico. 2016.

QUINAMO, L. A.; BARROS, L. C.; MANSO, V. A. V.; ARRUDA, K. E. C. **Estudos granulométricos e morfooscópicos dos sedimentos do estirâncio médio e aspectos**

ambientais da praia da Boa Viagem – Recife – PE. Estudos Geológicos, 2013. v. 23(1)
Disponível em: www.ufpe.br/estudosgeologicos . Acesso em: 20/08/2019.

REBOUÇAS, A. C. Importância da água subterrânea. *IN* FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações / organização e coordenação científica / Fernando A. C. Feitosa ... [et. al.] ...** – 3. ed. rev. E ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHIB, 2008.

RENOVATO, D. C. C.; SENA, C. P. S. e SILVA, M. M. F. **Análise de parâmetros físico-químicos das águas da barragem pública da cidade de Pau dos Ferros (RN) – pH, Cor, Turbidez, Acidez, Alcalinidade, Condutividade, Cloreto e Salinidade.** IX Congresso de iniciação científica do IFNR, 2013. p. 0879-0888.

RIVAS, M. P. (Coord.). **Macrozoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.** Rio de Janeiro: IBGE, 1996. [Série Estudos e Pesquisas em Geociências, n.4].

ROCHA, J.R. **Impactos das atividades antrópicas na qualidade das águas do rio Parnaíba no meio urbano das cidades de Teresina-PI e Timon-MA.** 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

ROCHA, M.E.S.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; MARTINS, V.N. Avaliação Preliminar da ETE Pirajá – Teresina – PI. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21. *Anais...* Rio de Janeiro, ABES, 2001. p. 1-6.

ROSS, J. L. C. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** SP. Laboratório de Geomorfologia – Depto. de Geografia - FFLCH/USP. 1993.

RUSSELL, R. Dana and TAYLOR, R.E. **Roundness and shape of Mississippi River sands,** *Jour. Geol. Soc. Am. Bull.*, 1937. vol. 45, n. 3. pp 225-267.

SALES, M. E. S. e LACERDA, M. C. **Análise de coliformes totais e termotolerantes em água de poço de residências no Município de Presidente Médici, Rondônia.** Revista Saberes UNIJIPA, Ji-Paraná, jul/dez 2017. v. 6, n. 1. ISSN 2359-3938.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. **Relação entre série de Sólidos e Condutividade Elétrica em diferentes águas residuárias.** Irriga, Botucatu outubro-dezembro, 2007. v. 12, n. 4. p. 557-562. ISSN 1808-3765.

SANTOS, G. G. A. **9 fotografias il. color digitais.** grau de arredondamento dos grãos de areia do Rio Parnaíba, 2019.

SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M. S. S. de. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís /** Maria Eugênia de Carvalho Marchesini Santos [e] Marise Sardenberg Salgado de Carvalho. – Rio de Janeiro: CPRM Serviço Geológico do Brasil – DGM/DIPALE - 2009. 215 p.

_____. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís /** Maria Eugênia de Carvalho Marchesini Santos [e] Marise Sardenberg Salgado de Carvalho – Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil/DIEDIG/DEPAT, 2004.

SCHERER, C. M.S. Ambientes Fluviais. In: SILVA, A. J. C. L. P.; ARAGÃO, M. A. N. F.; MAGALHÃES, A. J. C. **Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Beca-BALL Edições, 2008. p. 102-130.

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO – SEMPLAN. **Dados de batimetria do Rio Parnaíba – Teresina**. (2017).

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Levantamento batimétrico do Rio Madeira bairro Triângulo**. Relatório Técnico. Porto Velho: RO. Abril de 2013.

_____. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – PI**. Mapa Geológico do Piauí – 2ª versão – 2006. Francisco Lages Correia Filho. Secretaria de Minas e Energia.

SHEPARD, F.P. **Nomenclature based on sand - silt - clay ratios**. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954. 24, p. 151-158.

SILVA, A. J.C. L. P.; ARAGÃO, M. A. N. F. & MAGLHÃES, A. J. C. **Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil**. Organizadores SILVA, A. J.de C. L. P; ARAGÃO, M. A. N. F de & MAGLHÃES, A. J. C. – São Paulo: Beca-BALL Edições, 2008.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. **Bacias Sedimentares Paleozoicas e Meso-Cenozoicas Interiores**. In: BIZZI, L. A. *et al.* **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília. 2003. cap. 2. p. 55-85.

SILVA, C. F. A; BARRETO, E. P.; GREGÓRIO, M. N.; MANSO, V. A. V. **Estudo mineralógico dos sedimentos das praias do litoral da Ilha de Itamaracá, litoral norte de Pernambuco, Nordeste do Brasil**. Actas Congresso Internacional de Geografia. 76º Semana de Geografia. Págs. 213-226. Aprovado:27/08/2015.

SILVA, E. **Chuvras deixam desabrigados em todo o Piauí**. *Jornal O Dia*. p.9; Teresina, 12/03/1995.

_____. **Reflorestamento no Rio Parnaíba**: Junto com a recuperação das matas ciliares também será feito um projeto de educação ambiental. *Jornal O Dia*. p.9; Teresina, 02/02/1995.

SILVA, E.C.G.; PAZ, T.L.D.C.; ARAÚJO, D.M.F. **Monitoramento de parâmetros físico-químicos para avaliação do efluente tratado proveniente de uma ETE**. 56º Congresso Brasileiro de Química - CBQ. 2016. ISBN 978-85-85905-19-4. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/5/9490-17245.html>. Acesso em 08/05/2019.

SILVA, J. P. da. **Estudos Sedimentológicos, Hidrodinâmicos, Batimétricos e da Qualidade da água visando a evolução e os Aspectos Ambientais associados do estuário do Rio formoso – PE**. 2008. Tese (Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências). Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. PE, 2008.

_____. **Sedimentologia, Batimetria, Qualidade da água e Vulnerabilidade do Rio Capibaribe na cidade do Recife – PE**. 2003. Dissertação (Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. PE, 2003.

SILVA, R. C. A. & ARAÚJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)**. *Ciência & Saúde Coletiva*. 8(4), 2003.1019-1028.

SOUSA, M. U. **Análise físico-química e microbiológica do esgoto de uma universidade pública com proposta de tratamento biológico para reuso na própria**. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. 2016. Anais I CONAPESC. V.1, ISSN 2525-3999. Disponível em:
http://www.editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD1_SA85_ID1563_03052016001740.pdf. Acesso em 08/05/2019.

SOUSA, S. S. C. G.; CASTRO, J. W. A.; GUEDES, E. **Variações granulométricas e minerais pesados das praias do norte do Estado do Rio de Janeiro, SE, BRASIL: Condições de distribuição e deposição dos sedimentos**. São Paulo, UNESP, Geociências, 2017. v. 36, n. 2, p. 365 – 380.

STRAHLER, A. The nature of induced erosion and aggradation Man's Role. In: **Changing the Face of the Earth** ed L William and J R Thomas (Chicago: University of Chicago Press) 1956. pp 621-38.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar** / Kenitiro Suguio - São Paulo: Blücher, 2003.

_____. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. 1973. p. 318.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

TRASK, P.D.– **Mechanical analysis of sediments by centrifuge**. *Econ. Geol.*, 1930. 25:581-599.

TORRISI, D.; KLEINA, M.; TAVEIRA, B. D. A.; OLIVEIRA, F. A. O.; CARVALHO, J. L.; SILVA, J. M. F.; BUENO, K. M. **Identificação da variação de energia no fluxo de escoamento através da análise granulométrica de perfis de margens fluviais na bacia hidrográfica do rio Pirabeiraba – SC**. *Caderno de Geografia*, 2016. v. 26, n. 45, ISSN 2318-2962 DOI 10.5752/p.2318-2962. p. 224-236.

TUCKER, M. E. **Sedimentary Petrology: An Introction**. *Geoscience Texts*. 1989. v. 3.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM - UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130 p.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. **EPA Secondary Maximum Contaminant Levels: A Strategy for Drinking Water Quality and Consumer Acceptability**. Water Research Foundation. 2015. Available from:
<file:///C:/Users/PC/Downloads/DietrichWRF4537.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

VALLE JUNIOR, R.F.D.; CANDIDO, H.G.; NOGUEIRA, M.A.D.S.; ABDALA, V. L. **Monitoramento das variáveis físico-químicas e microbiológicas das águas superficiais na bacia do rio Uberaba** – MG. *Global Science and Technology*, 2012. v. 05, n. 02, p. 150-163.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. **Bacia do Parnaíba**. *Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, maio/nov. 2007. v. 15, n. 2, p. 253-263.

VASCONCELLOS, F.C. S.; IGANCI, J.R.V.; RIBEIRO, G.A. **Qualidade microbiológica da água do Rio São Lourenço, São Lourenço Do Sul, Rio Grande Do Sul**. Universidade Federal de Pelotas. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, abr./jun., 2006. v. 73, n. 2, p.177-181.

VITÓ, C. V. G.; SILVA, L. J. B. F.; OLIVEIRA, K. M. L; GOMES, A. T.; NUNES, C. R. O. **Avaliação da qualidade da água**: Determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região noroeste fluminense. *Acta Biomedica Brasiliensia*, dezembro de 2016. v. 7, n. 2. ISSN: 2236-0867. Disponível em: www.actabiomedica.com.br. Acesso em: 22/04/2019.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 7, 452 p.

WADELL, H.A. (1932) - Volume, shape and roundness of rock particles. *Journal of Geology*, 1932. 40:443-451.

Water Research Center. **Water Quality Report**. Monitoring the Quality of Surface Waters (WQI Calculator). Available from: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>. Available from: 02/02/2017.

WEICHSELGARTNER, J. **Disaster mitigation**: the concept of vulnerability revisited. **Disaster Prevention and Management**, 2001. v. 10, n.2, p. 85-95, Available from: https://www.researchgate.net/publication/238413556_Disaster_Mitigation_The_Concept_of_Vulnerability_Revisited . Acesso em: 20/10/2019.

WHITE G.F. **Natural hazards**. Oxford University Press, London. (ed) (1974).

YIN, X L; YUAN, S X; LIU, Y C; HUANG, C P; LIU, X C; WANG, J and HUANG G Q. **Research progress on urban river landscapes and equilibrium profile**. The 4th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2018). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **191** (2018) 012099 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/191/1/0120991.

ZALÁN, P. V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSONETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). **Geologia do continente sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 595-612.