



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS  
MESTRADO

**SÉRIES TEMPORAIS E MODELOS NUMÉRICOS PREDITIVOS COMO  
FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO  
DA ILHA DO MARANHÃO, BRASIL.**

LAURINDA FERNANDA SALDANHA SIQUEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS  
MESTRADO

**SÉRIES TEMPORAIS E MODELOS NUMÉRICOS PREDITIVOS COMO  
FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO  
DA ILHA DO MARANHÃO, BRASIL.**

LAURINDA FERNANDA SALDANHA SIQUEIRA

DISSERTAÇÃO ENTREGUE AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS (MESTRADO) COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE.

ORIENTADOR: PROF. DR. MARIANO OSCAR ANIBAL IBANEZ ROJAS

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES

Siqueira, Laurinda Fernanda Saldanha

Séries temporais e modelos numéricos preditivos como ferramentas de auxílio ao gerenciamento costeiro integrado da Ilha do Maranhão, Brasil – São Luis, 2010.

94f.

Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) Universidade Federal do Maranhão, 2010.

1. Expansão urbana 2. Saneamento básico 3. Séries temporais 4. Modelos preditivos 5. Coliformes totais na água 6. Ilha do Maranhão (Brasil).  
I.Título

CDU

## DEDICATÓRIA

*À minha família, o motivo.*

*“É na experiência da vida que o homem evolui”*

*Harvey Spencer Lewis*

*“Toda ação é designada em termos do que procura atingir”*

*Niccolo Maquiavel.*

*"O que prevemos raramente ocorre, o que menos esperamos geralmente acontece."*

*Benjamin Disraeli*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, sempre.

À minha mãe, Francisca das Chagas Saldanha Siqueira, por todo amor, carinho e força em todas as decisões e por ter sido o primeiro degrau nesta escalada.

Ao meu irmão, Mathews Wallen Siqueira Silveira, que, tenho fé, vai se guiar pelos meus passos.

À minha madrinha, Francisca Tereza Saldanha Bezerra, a qual, tenho certeza, estar presente em todos os momentos decisivos da minha vida.

À Jonas de Jesus Gomes da Costa Neto, por ter sido além de um degrau sólido nesta escalada, também muitas vezes minha fortaleza.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas (Mestrado) da Universidade Federal do Maranhão, por dois anos intensos de pesquisa e muito trabalho, e também por possibilitar participações em eventos científicos nacionais e internacionais.

A CAPES, pelo ao apoio financeiro.

À Fundação Nacional de Saúde do Maranhão, que contribuiu viabilizando materiais e laboratórios.

Ao orientador Prof. Dr. Mariano Oscar Aníbal Ibañez Rojas, por todo apoio, atenção e parcimônia.

À Profa. Dra. Maria do Socorro Ibañez, da Universidade de Brasília, e ao Prof.Dr. Cláudio Urbano, da Universidade Federal do Maranhão, por aceitarem compor a banca examinadora.

A todos que acreditaram e, principalmente, a todos que duvidaram.

A todos meus amigos e professores, que foram verdadeiros balaústres.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Objetivo Geral.....	4
1.3.2 Objetivo Específicos.....	4
<b>1.3 HIPOTESE.....</b>	<b>4</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 PROBLEMÁTICA SÓCIOAMBIENTAL NA ORLA MARÍTIMA.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Limites da Zona Costeira e da orla marítima.....	6
2.1.2 A qualidade ambiental e a questão do saneamento básico em praias da Ilha do Maranhão, Brasil.....	7
2.1.2 Uso, ocupação e expansão urbana.....	9
<b>2.2 POLÍTICAS PÚBLICAS NA ZONA COSTEIRA: <i>uma breve contribuição</i>.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Constituição Federal, de 05 de outubro de 1988.....	11
2.2.2 Constituição do Estado do Maranhão, de 05 de outubro de 1989.....	11
2.2.3 Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC I), Lei Federal nº 7661, de 16 de maio de 1988.....	11
2.2.4 Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-II, Resolução da Comissão Interministerial de Recursos do Mar nº05, de 03 de dezembro de 1997.....	13
2.2.5 Decreto Presidencial nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004.....	13
2.2.6 Decreto nº 5.377, de 23 de fevereiro de 2005.....	14
2.2.7 Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.....	15
2.2.8 Plano Diretor do Município de São Luis, Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006.	16
2.2.9 Outras publicações.....	17
<b>2.3 SUSTENTABILIDADE E GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Considerações sobre o conceito de Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade.....	18
2.3.2 Considerações sobre Gerenciamento Costeiro Integrado.....	19
2.3.3 Expectativas para a Sustentabilidade e o Gerenciamento Costeiro Integrado.....	21
2.3.3.1 <i>Séries temporais e modelos numéricos como ferramentas</i> .....	21
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO CONCEITUAL.....</b>	<b>28</b>

<b>3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>29</b>
3.3.1 Etapa I: <i>Levantamento de dados</i> .....	29
3.3.2 Etapa II: <i>Construção e análise das séries temporais</i> .....	32
3.3.3 Etapa III: <i>Elaboração e proposição dos modelos numéricos</i> .....	34
3.3.4 Etapa IV: <i>Teste e aplicação dos modelos</i> . ....	35
<b>3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 BASE DE DADOS LEVANTADOS.....</b>	<b>36</b>
4.1.1 Descrição dos dados levantados.....	36
4.1.2 Escolha das variáveis.....	37
<b>4.2 CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS.....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Preparação dos dados.....	41
4.2.2 Análise de tendências.....	50
4.2.3 Análise de sazonalidade.....	54
4.2.4 Obtenção das séries temporais e dos fatores sazonais.....	56
<b>4.3 CONSTRUÇÃO E PROPOSIÇÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS.....</b>	<b>62</b>
4.3.1 Teste e aplicação dos modelos numéricos.....	67
4.3.2 Limitações dos modelos.....	82
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO A – Dados secundários de níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL) das praias estudadas, da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989 – 2007 (Fonte: FUNASA/ MA, 1989; SEMA, 2003, 2005, 2006 e 2007).....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO B – Dados secundários referentes à expansão urbana e ao saneamento básico para a zona urbana da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2009 (Fonte: IBGE)...</b>	<b>93</b>
<b>APENDICE A – Dados primários de níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL) das praias estudadas, da Ilha do Maranhão (Brasil), 2009.....</b>	<b>94</b>
<b>APENDICE B – Pontos de lançamentos de esgoto <i>in natura</i> nas praias estudadas, da Ilha do Maranhão (Brasil), 2009 (Imagem adaptada do banco de imagens do Google Earth, 2009).....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1 – Limites de coliformes, <i>E.coli</i> e enterococos, em NMP/100mL da amostra, de acordo com as Resoluções CONAMA n°357/05 e n° 20/ 86.....</b>	<b>16</b>
<b>TABELA 3.1 – Pontos de amostragem georreferenciados nas praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d’ Água e Araçagi, Ilha do Maranhão (Brasil), 2009.....</b>	<b>30</b>
<b>TABELA 4.1 – Testes de normalidade e análise descritiva aplicados às séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trechos das praias em estudo, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>43</b>
<b>TABELA 4.2 – Testes de normalidade e análise descritiva aplicados às séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL) após transformação logarítmica (Log10), em trechos das praias em estudo, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>44</b>
<b>TABELA 4.3 – Coeficientes de explicação (<math>R^2</math>) para modelos aplicados às séries de dados de níveis de coliformes totais (NMP/ 100 mL) em trechos das praias em estudo, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>51</b>
<b>TABELA 4.4 – Verificação da significância da sazonalidade nas séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trechos de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>54</b>
<b>TABELA 4.5 – Modelagem das relações entre coliformes totais (NMP/ 100 mL) e as pressões antrópicas, com os respectivos coeficientes de correlação (R) e determinação (<math>R^2</math>), para praias da Ilha do Maranhão (Brasil).....</b>	<b>63</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 4.1 – Análise de componentes principais baseada na correlação para identificação das variáveis de estudo.....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 4.2 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (P1 = 02° 30' 15" S; 44° 19'06.9"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 4.3 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 4.4 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28' 56.60" S; 44° 15'5.97"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 4.5 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100mL), em trecho da Praia do Olho d' Água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 4.6 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 4.7 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (P1 = 02° 30' 15" S; 44° 19'06.9"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 4.8 - Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 4.9 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60" S; 44° 15'5.97"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 4.10 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Olho d' água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 4.11 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 4.12 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (P1 = 02° 30' 15"S; 44° 19'06.9"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>48</b>

<b>FIGURA 4.13 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 4.14 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60'' S; 44° 15'5.97''W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 4.15 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Olho d' água (02°28' 43.3''S; 44°13'45.5''W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 4.16 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3''S; 44°12'18.1''W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 4.17 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (02° 30' 15'' S; 44° 19'06.9''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 4.18 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 4.19 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60'' S; 44° 15'5.97''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 4.20 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Olho d' água (02°28' 43.3''S; 44°13'45.5''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 4.21 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3''S; 44°12'18.1''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 4.22 – Variabilidade anual dos níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho das praias da (A) Ponta da Areia, (B) São Marcos, (C) Calhau, (D) Olho d' Água e (E) Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 4.23 – Série temporal para níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (02° 30' 15'' S; 44° 19'06.9''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 4.24 – Série temporal pura para níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 4.25 – Série temporal para níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60'' S; 44° 15'5.97''W), Ilha do</b>	

Maranhão (Brasil), 1989-2007.....	59
<b>FIGURA 4.26 - Série temporal pura para níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL em trecho da Praia do Olho d' água (02° 28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 4.27 – Série temporal pura para níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 4.28 – Comparação entre os valores preditivos pelos modelos propostos e os valores observados de coliformes totais (NMP/ 100 mL) na água em trechos das praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' Água e Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2009.....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 4.29 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL, para trecho da Praia da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 4.30 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia de São Marcos, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 4.31 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Calhau, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 4.32 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Olho d' Água, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 4.33 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 4.34 – Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL, para trecho da Praia da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 4.35 – Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia de São Marcos, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 4.36 – Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Calhau, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 4.37 – Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Olho d' Água, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>76</b>

<b>FIGURA 4.38 – Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 4.39 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 4.40 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia da São Marcos, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 4.41 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Calhau, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 4.42 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Olho d’ Água, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 4.43 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, de níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.....</b>	<b>82</b>

**SÉRIES TEMPORAIS E MODELOS NUMÉRICOS PREDITIVOS COMO  
FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO  
DA ILHA DO MARANHÃO, BRASIL.**

**RESUMO**

O que se tem observado nas praias da Ilha do Maranhão (Brasil) é um processo intenso de urbanização iniciado a partir da década de 70, nem sempre acompanhado por uma estruturação e planejamento do espaço urbano, ocasionando inúmeros problemas ambientais, principalmente no que concerne ao saneamento ambiental. Nas áreas costeiras o desafio do gerenciamento integrado está, sobretudo, em harmonizar o desenvolvimento urbano com a conservação e o uso sustentável. Neste âmbito, considerando a melhoria da qualidade das decisões em gestão da sustentabilidade, são necessárias relações mais estreitas entre os resultados do monitoramento da sustentabilidade e as respostas políticas dos tomadores de decisão. Sob a hipótese de que os níveis crescentes de coliformes totais na água das praias, como indicativos de contaminação por esgotos domésticos e, por conseguinte de um planejamento urbano deficiente, são resultado da atuação de variáveis de expansão urbana e de indicadores de saneamento básico, teve-se o objetivo propor ferramentas de auxílio ao gerenciamento costeiro integrado na forma de séries temporais e modelos numéricos preditivos dos níveis de coliformes totais na água das praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' água e Araçagy, da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil). Neste intuito, foi realizada pesquisa documental e em campo para obtenção de dados referentes à expansão urbana, ao saneamento básico e à qualidade da água das praias estudadas, para construção e análise das séries temporais de coliformes totais na água, estudo das correlações entre as variáveis de expansão urbana e saneamento básico sobre os níveis de coliformes totais e para construção e proposição de modelos numéricos com base nas correlações identificadas e nas peculiaridades das praias estudadas. Os resultados indicam confirmação da hipótese da pesquisa. A análise das séries temporais indicou haver tendência crescente nos níveis de coliformes totais na água das praias em estudo, sendo mais significativa nas praias do Calhau, São Marcos e Olho d' Água, e menos significativa nas praias da Ponta da Areia e Araçagy. A amplitude da sazonalidade do comportamento destes níveis foi variável, condicionada a fatores sazonais multiplicativos responsáveis por conferir a variabilidade, neste intento obteve-se equações que permitiram calculá-los para cada período de tempo. As variáveis que mais explicaram o crescimento dos níveis de coliformes totais na água, sendo utilizadas na construção dos modelos numéricos preditivos, foram população urbana, densidade populacional, número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos, número de domicílios com estruturas inadequadas de esgotamento sanitário, pH da água e números de lançamento de esgoto *in natura* nas praias, associadas as peculiaridades de cada praia na forma de fatores sazonais obtidos pela análise das séries temporais. Há de se ter em mente que este estudo é uma aferição indireta e que deve ser utilizada como instrumento subsidiário na gestão sustentável do espaço estudado e na avaliação das políticas públicas traçadas na área de gerenciamento dos recursos hídricos. O mérito da pesquisa diante o gerenciamento costeiro integrado foi verificar o retrocesso em direção às suas metas e à sustentabilidade da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil).

Palavras-chave: Coliformes totais na água de praias. Séries temporais. Modelos numéricos preditivos. Expansão urbana. Saneamento básico. Ilha do Maranhão (Brasil).

**TIME SERIES AND PREDICTIVE NUMERICAL MODELS AS TOOLS TO AID  
THE INTEGRATED COASTAL MANAGEMENT OF THE ISLAND OF  
MARANHÃO (BRAZIL).**

**ABSTRACT**

What has been observed on the beaches of the island of Maranhao (Brazil) is an intense process of urbanization started from the 70's, not always accompanied by urban space' structuring and planning, causing many environmental problems, mainly with respect to environmental sanitation. In coastal areas, the challenge of integrated management is mainly to harmonize urban development with conservation and sustainable use. Whereas improve the quality of decisions in the management of sustainability, are necessary closer links between the results of sustainability' monitoring and the policy responses of decision makers. Under the hypothesis that increasing levels of total coliform in the beaches' water, as indicative of contamination by domestic sewage and therefore a poor urban planning, are results of the performance variables of urban sprawl and sanitation indicators, had the objective to propose tools to aid the integrated management and sustainability in the form of time series and numerical predictive models of levels of total coliform bacteria in water from the beaches of Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' Água and Araçagy, coastline of the island of Maranhao (Brazil). To this end, a study was performed documental and field research to obtain data about urban sprawl, sanitation and water quality of the beaches studied for construction and analysis of time series of total coliform in water, study the correlations between variables urban expansion and sanitation on the levels of total coliforms and construction and proposal of numerical models based in correlations found and peculiarities of the beaches studied. The results indicate confirmation of research' hypothesis. The analysis of time series indicated a significant increase in levels of total coliform in the water of the beaches studied, being more significant on the beaches Calhau, São Marcos and Olho d' Água, and less significant on the beaches of Ponta da Areia and Araçagy. The amplitude of the seasonal behavior of these levels was variable, subject to seasonal multiplicative factors responsible for checking the variability, this strike was obtained which allowed equations to calculate them for each time period. The variables explained most of the growth of total coliforms in water and are used in the construction of predictive numerical models, was urban population, population density, number of households connected to the sewer system, number of households with inadequate sewage, water pH and release numbers *in natura* sewage on the beaches, associated characteristics of each beach in the form of seasonal factors obtained by the time series' analysis. This study is an indirect measurement and should be used as an alternative tool in the sustainable management of the area studied and evaluation of public policies to the management of water resources. The research' merit on integrated coastal management was to represent reverse direction to the your proposed goals and sustainability of the coastline of the island of Maranhão (Brazil).

Keywords: Total coliforms in water. Time series. Predictive numerical models. Urban sprawl. Sewerage. Island of Maranhão (Brazil).

## 1 INTRODUÇÃO

Mais de 80% da população brasileira vive nas cidades, de acordo com o Censo 2000 do IBGE. Esta estimativa permite supor e prever uma significativa extensão das relações do homem com o meio ambiente urbano, não apenas sobre a sustentabilidade ambiental local, mas sim sobre a sustentabilidade do país como um todo. De acordo com Bollmann (2003), a sustentabilidade só será possível quando se entender e equacionar as interações entre as dinâmicas urbanas e o ambiente natural, se regenerar as funções ecossistêmicas no processo de urbanização e manter estas dinâmicas em equilíbrio

Bollmann (2003) alude que até a década de 90, o desenvolvimento de estudos sobre problemas ambientais urbanos não eram relevantes e, por isso, relativamente raros na literatura. Segundo o autor, nos últimos anos a maior atenção dispensada ao assunto permite melhor delineamento dos interferentes da relação entre urbanização e meio ambiente. Ainda de acordo com autor, em termos gerais, as áreas urbanas representam uma das mais profundas modificações antrópicas da superfície terrestre, das águas, da atmosfera e do ecossistema em geral, com efeitos intensivos e localizados.

Sob este aspecto de interação urbano-natural, de acordo com Frota et al (2005), Breton (1996) e Drew (1983), o uso e a ocupação da Zona Costeira não somente se intensificaram ao longo das últimas décadas, como também incorporaram novas formas de interferência ambiental, sem haver o avanço simultâneo do conhecimento necessário para um uso mais racional e adequado dos espaços e recursos litorâneos.

No caso da Ilha do Maranhão (Brasil), as tentativas de conciliação do crescimento populacional e expansão urbana com a conservação e o uso sustentável da orla marítima têm gerado conflitos de usos, sobretudo no que tange à qualidade da água das praias e a expansão urbana sem planejamento adequado. Segundo Otto-Ribas et al (2000), nas áreas costeiras o desafio da sustentabilidade está sobretudo em harmonizar o desenvolvimento urbano com a conservação e o uso sustentável.

Considerando que o propósito fundamental que suporta o monitoramento do estado ambiental e da sustentabilidade é a melhoria da qualidade das decisões em gestão da sustentabilidade, são necessárias relações mais estreitas entre os resultados do monitoramento da sustentabilidade e as respostas políticas dos tomadores de decisão (BROWN & DICK, 2001 *apud* SIDS Portugal, 2007).

Dessa maneira, fazem-se imperativas, no contexto político, social e econômico atuais, ferramentas que facilitem a tomada de decisão e auxiliem o possível uso sustentável de

áreas costeiras. Diante do exposto, tem-se a proposta do uso da análise de séries temporais como ferramentas de diagnóstico da evolução e do comportamento de variáveis ambientais ao longo do tempo, associada a modelos numéricos como ferramentas de previsão destes comportamentos, pretendendo que ambas sejam subsídios ao gerenciamento integrado de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil).

A dissertação foi dividida em cinco capítulos. O Capítulo 1, consta da introdução, justificativa, objetivos e hipótese da pesquisa. O Capítulo 2 trata do arcabouço teórico que consubstancia a pesquisa, pertinente à problemática ambiental das praias, legislação, sustentabilidade e gestão da orla marítima. O Capítulo 3 traz a metodologia proposta ao estudo, abrangendo a pesquisa bibliográfica documental, pesquisa em campo e laboratorial. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, bem como traz à discussão a aplicabilidade das ferramentas propostas no âmbito da gestão e sustentabilidade da orla marítima em estudo. O Capítulo 5 compila as considerações e contribuições finais da pesquisa.



## 1.1 JUSTIFICATIVA

No Maranhão, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA, 1998) em levantamento realizado diagnosticou um quadro problemático que teve início a partir da década de 70, quando se iniciou a urbanização da orla da Ilha do Maranhão. Até a década de 60, a extensa faixa litorânea ao norte da ilha que se estendia da Praia da Ponta da Areia a Praia da Raposa era inabitada ou habitada esparsamente. Ainda de acordo com a SEMA (1998), a partir dos anos 70 passou a existir ao longo da orla marítima, ou mesmo nela, diversos empreendimentos imobiliários, principalmente, residências, prédios de apartamentos, condomínios fechados, bares, restaurantes e hotéis. Esta urbanização desordenada, segundo alguns pesquisadores entre eles Mourão (2003) e Oliveira (2007), veio associada à falta de infra-estrutura e saneamento básico.

Assim, tem-se um panorama local em que a expansão urbana intensificada na forma de expansão imobiliária e populacional, soma-se à precariedade do planejamento urbano na orla marítima. As conseqüências são materializadas na forma de degradação ambiental e de deterioração da qualidade das águas das praias em função dos seus múltiplos usos e conflitos de usos. A deterioração ambiental de praias tem influência direta no setor econômico – já que parte do comércio e dos serviços locais desenvolve-se nestes segmentos (bares, restaurantes, empreendimentos imobiliários), atrelados ao turismo – e na saúde pública – considerando-se que as condições sanitárias das praias podem repercutir na transmissão de doenças.

Neste contexto, o estudo da qualidade ambiental surge como importante instrumento da gestão ambiental, como ferramenta de informação e de conscientização à população e aos tomadores de decisões. Nesta conjuntura, a Política Nacional de Meio Ambiente, a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 – a qual tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando a assegurar condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana – tem entre seus princípios o *acompanhamento do estado da qualidade ambiental*.

Diante do exposto, sob o aspecto teórico, a pesquisa justifica-se na medida em que busca articular e confrontar variáveis socioeconômicas e ambientais. Sob ponto de vista prático, os resultados podem fornecer subsídios técnicos e ferramentas de ação aos tomadores de decisões e para a sociedade, além de aperfeiçoar as concepções sobre a gestão e sustentabilidade de áreas costeiras.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Propor ferramentas de auxílio ao gerenciamento integrado e sustentabilidade na forma de séries temporais e modelos numéricos preditivos dos níveis de coliformes totais na água das praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' água e Araçagy, da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil).

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a. Levantar dados referentes aos elementos de qualidade de água (parâmetros físico-químicos e coliformes totais na água), expansão urbana e saneamento básico na área de estudo.
- b. Construir e analisar séries temporais dos níveis de coliformes totais na água das praias em estudo com base nos dados levantados, para verificação de tendências e de fatores sazonais.
- c. Verificar correlações entre elementos de qualidade de água, expansão urbana e saneamento básico sobre os níveis de coliformes totais na água das praias em estudo.
- d. Incorporar as correlações e os fatores sazonais em modelos numéricos preditivos para os níveis de coliformes totais na água das praias.
- e. Testar a aplicabilidade dos modelos propostos em cenários.

## **1.3 HIPÓTESE**

A crescente depreciação da qualidade da água de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil), representada pelo aumento na quantidade de coliformes totais, é resultado da atuação em conjunto da evolução da expansão urbana e das formas de saneamento básico.

É possível identificar as variáveis que mais explicam este comportamento e utilizá-las na construção de modelos numéricos preditivos dos níveis de coliformes totais na águas das praias em estudo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PROBLEMÁTICA SÓCIOAMBIENTAL NA ORLA MARITIMA

Para Crombie & Doering (1991), mesmo a Comissão das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED) – a Comissão de Bruntland – dirigiu pouca atenção à análise dos chamados desafios ambientais urbanos. Segundo os autores, uma possível explicação para este desinteresse pode relacionar-se à concepção de que os ecossistemas urbanos são considerados como ambientes irremediavelmente deteriorados, sendo assim, todo o esforço é dirigido para a conservação das porções do ambiente com ainda valor ecossistêmico.

Segundo Polidori (2004), o processo de crescimento urbano é de difícil apreensão pela elevada quantidade de fatores presentes na cidade e na paisagem que integra, pelas suas inter-influências e diferentes escalas, pelo grande tamanho da cidade e pela ocorrência de mudança no curto e no longo prazo. De acordo com o autor, as mudanças urbanas não ocorrem como se a cidade fosse um objeto isolado, havendo inter-influência permanente das realizações sociais, econômicas, culturais e tecnológicas, com características do território não urbanizado, modificados ou não pela ação do homem. Ressalta ainda, que a urbanização não extingue plenamente os atributos naturais, nem o território não urbanizado exclui plenamente os atributos urbanos.

O que se tem observado nas praias da Ilha do Maranhão é um processo intenso de urbanização iniciado a partir da década de 70. Por trás deste suposto desenvolvimento, tem-se um panorama de crescimento urbano nem sempre acompanhado por uma estruturação e planejamento do espaço urbano, o que ocasiona inúmeros problemas ambientais, principalmente no que concerne ao saneamento ambiental, e especificamente em termos de qualidade de água.

Com destaque ao processo de expansão urbana na orla marítima da Ilha do Maranhão, tem-se observado uma depreciação da qualidade sanitária das águas das praias, representada pelas condições de *impropriedade*, as quais podem repercutir em danos à saúde pública e ao setor econômico, especialmente considerando o seu potencial turístico. Estes assuntos foram mais bem discutidos nos próximos tópicos da revisão de literatura.

### 2.1.1 Limites da Zona Costeira e da orla marítima

Antes de se adentrar nas discussões propriamente ditas, são válidas algumas definições a cerca de Zona Costeiras e seus compartimentos e limites. Em uma análise generalista sobre o conceito de litoral, Ab' Saber (2001) é bastante feliz na sua classificação:

*Trata-se de um domínio do planeta Terra em que se processa o contato entre o mar e o continente, em uma situação em que as terras expostas às vagas marinhas variam muito quanto à natureza das rochas, a altura do relevo e compartimentos da topografia, enquanto a dinâmica das águas costeiras prossegue em seu trabalho constante de abrasão e sedimentação, ainda que comportando diferenciações, desde os pólos aos trópicos e nas desembocaduras dos grandes rios. Além do que, os contatos desdobram-se até o espaço aéreo costeiro, pelo jogo de ventos e brisas que se alternam dia e noite, do mar para a terra e desta para o mar (AB' SABER, 2001: p.14).*

Sob outro enfoque, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei Federal nº 7661, de 16 de maio de 1988), considera *Zona Costeira* como espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre (Art. 2º, Parágrafo único). O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro também define por *praia* a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou, em sua ausência, onde comece outro ecossistema (Art. 10, § 3º).

O Decreto Presidencial nº 5.300, de 7 de janeiro de 2004, fixa os limites da Zona Costeira tanto a sua *faixa marítima*, correspondente a doze milhas (mar territorial), como na sua *faixa terrestre*, correspondente aos limites territoriais dos municípios que compõem a zona costeira. No que se refere à *Orla Marítima* como área de transição entre as duas faixas da zona costeira, o referido decreto estabelece seus limites, com faixa marítima estendendo-se em direção ao mar até a linha da isóbata de dez metros, e com a estreita faixa terrestre, que se estende até cinquenta metros em áreas urbanizadas ou duzentos metros em áreas não urbanizadas, a partir da linha da preamar ou do limite final dos ecossistemas praia, duna, costão rochoso, manguezal etc., onde estão situados os Terrenos de Marinha e seus acréscimos.

Tanto os Planos Nacionais de Gerenciamento Costeiro I e II, quanto o Decreto Presidencial nº 5.300/04, foram melhor esmiuçados nos próximos itens da pesquisa. Estes

documentos constituem-se importantes instrumentos para a gestão, de tal forma que sempre se recorreu aos mesmos para consubstanciar esta pesquisa.

### **2.1.2 A qualidade ambiental e a questão do saneamento básico em praias da Ilha do Maranhão, Brasil.**

A qualidade ambiental de praias, a poluição do mar constitui um problema atual dos mais sérios, como acentua Cidral Júnior (1994). Diversos são os fatores que concorrem para a presença de esgotos nas praias, entre eles, a CETESB (2006; 2007) cita:

*(a) Existência de sistemas de coleta e disposição dos efluentes domésticos gerados nas proximidades.* A deficiência destes sistemas tem como consequência o lançamento direto ou indireto dos esgotos nos cursos d'água mais próximos, que acabam por afluir às praias.

*(b) Presença de cursos d'água afluindo diretamente a uma determinada praia.* Galerias de drenagem, córregos ou filetes de água podem receber lançamentos clandestinos no seu curso, causando a afluência ao mar de grande quantidade de esgotos.

*(c) Aumento da população durante os períodos de temporada.* Somado aos sistemas de coleta de esgotos insuficientes responsáveis por afastar os despejos, faz com que os esgotos terminem sendo lançados em galerias de águas pluviais, córregos ou praias;

*(d) Fisiografia da praia.* Enseadas, baías e lagunas apresentam condições de diluição bastante inferiores as de regiões costeiras abertas, o que resulta em menor taxa de renovação das águas, contribuindo para a concentração dos poluentes e limitando a capacidade de diluição do meio receptor

*(e) Ocorrência de chuvas.* Constitui-se uma das principais causas da deterioração da qualidade das águas das praias, já que esgotos, lixos e outros detritos são carreados por meio de galerias, córregos e canais de drenagem, produzindo um aumento considerável na densidade de bactérias nas águas litorâneas.

*(f) Condições de maré.* Nas marés de enchente, o grande volume de água afluyente favorece a diluição dos esgotos presentes nas águas das praias e age bloqueando cursos d'água eventualmente contaminados. Nas marés vazantes, ocorre drenagem das águas dos córregos para o mar o que significa maior quantidade de esgotos para as praias.

Do ponto de vista da Saúde Pública, é importante considerar a possibilidade da transmissão de doenças de veiculação hídrica aos banhistas. Os microorganismos patogênicos atingem a água, principalmente, por meio das excreções de pessoas ou animais infectados, ocasionando comumente gastroenterites. Segundo a CETESB (2004), as formas de contaminação, que vem ocorrendo ao longo dos anos, são causadas pelo desenvolvimento industrial, pelo crescimento demográfico e pela ocupação do solo de forma intensa e acelerada, os quais comprometem os usos múltiplos da água.

Na Ilha do Maranhão, segundo Santos (1993) e também por estimativas da Secretaria de Estado Extraordinária para Desenvolvimento do Turismo do Maranhão (SEDETUR, 2006) e da Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA, 1998), as praias apresentam alguns problemas com relação à estrutura inadequada de esgotamento sanitário, de coleta e disposição lixo na faixa litorânea e circunvizinhanças; e presença de córregos, galerias e rios notoriamente contaminados por esgotos desaguando nas praias (como o Rio Calhau e Rio Pimenta). O elevado índice pluviométrico entre os meses de janeiro a maio, também atua a depreciação da qualidade das praias da Ilha do Maranhão.

Com o intuito de avaliar a qualidade da água das praias da Ilha do Maranhão, vem sendo realizadas algumas pesquisas sobre qualidade ambiental, referindo-se à avaliação de padrões de balneabilidade estabelecidos na legislação, com pouca ou nenhuma análise de causa-efeito e estudos espaços-temporais. São elas as de Souza (2003), Mourão (2006), Da Silva (2006) e Oliveira (2007).

Entrementes, entenda-se *balneabilidade* como a qualidade das águas doces, salobras e salinas destinadas à recreação de contato primário. Contato primário é entendido como um contato direto e prolongado com a água, no qual, a possibilidade do banhista ingerir quantidades apreciáveis de água é elevada (Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005). Tendo como principais indicadores os coliformes fecais e totais (Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986), coliformes termotolerantes, *Eschechiria coli* e *Enterococcus* (Resolução CONAMA nº 357/ 2005), todos indicativos de poluição por esgoto em menor ou maior escala segundo a CETESB (2004).

No âmbito, Souza (2003) realizou levantamento de estudos sobre as condições de balneabilidade da praia da Ponta da Areia no município de São Luis (MA) nos anos de 1993 a 2002. Também identificou queda da qualidade ambiental da praia da Ponta da Areia ao longo dos dez anos da série de dados arrolados na pesquisa, porém sem avaliar ou mesmo indicar possíveis causas desta depreciação.

Da Silva (2006) desenvolveu um estudo com finalidade de avaliar as condições higiênico-sanitárias da água das praias da Ponta da Areia, Calhau, Olho d'Água e Araçagi, em São Luis (MA), por meio de pesquisa sobre contaminação por enterococos, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. A autora inferiu que as águas das praias apresentam níveis de contaminação mais acentuados no período chuvoso e diagnosticou que durante o período do desenvolvimento da pesquisa, não existiu monitoramento da qualidade microbiológica das águas das praias do município de São Luis – MA, nem tão pouco divulgação para a população local. O mérito desta pesquisa está no fato do uso e confrontação de vários indicadores microbiológicos, contudo não foi feita análise de custo-benefício que consubstanciasse a adoção de algum destes pela sua eficácia e custo agregado.

Mourão (2006) com base na avaliação de coliformes termotolerantes, categorizou as praias da Ponta da Areia, Calhau, Olho d'Água e Araçagi, como *Imprópria* (para as três primeiras) e *Própria* e do mesmo modo que pesquisas anteriores, o autor constatou que as maiores concentrações de coliformes termotolerantes foram obtidas no período chuvoso. Em estudo similar Oliveira (2007) concluiu que o regime de preamar contribuiu para o incremento da poluição da zona costeira por coliformes termotolerantes; os níveis de contaminação mais acentuados ocorreram no período chuvoso; e os parâmetros pH e salinidade não mostraram influência sobre os indicadores de poluição fecal.

Como fica evidente, as pesquisas até então desenvolvidas constam meramente de séries de diagnósticos sem alguma preocupação no que se refere ao estudo das implicações futuras com a manutenção da atual taxa de depreciação das praias da Ilha do Maranhão.

### **2.1.2 Uso, ocupação e expansão urbana**

O crescimento populacional acelerado do litoral nas frentes oceânicas se dá principalmente pela ocupação das praias, inicialmente para veraneio e posteriormente para moradia fixa (BRETON, 1996). A falta de planejamento e infra-estrutura nessas áreas implica em um crescente aumento da degradação desses ambientes, trazendo perdas econômicas e ambientais, como concorda Drew (1983) ao mencionar que virtualmente todos os aspectos ambientais são afetados pela urbanização, inclusive o relevo, o uso, a terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima, e em regra geral, a intensidade da mudança está ligada à densidade da área edificada e à extensão da ocupação.

No Maranhão, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA, 1998) refere que até a década de 60, a extensa faixa litorânea ao norte da ilha que se

estendia da Praia da Ponta da Areia a Praia da Raposa era inabitada ou habitada esparsamente. De acordo com a SEMA (1998), a partir dos anos 70 passou a existir ao longo da orla marítima, ou mesmo nela, diversos empreendimentos imobiliários, principalmente, residências, prédios de apartamentos, condomínios fechados, bares, restaurantes e hotéis. Esta urbanização desordenada, segundo alguns pesquisadores, entre eles Feitosa (1983; 1989), veio associada com a falta de infra-estrutura e saneamento básico.

A maior concentração populacional relacionada ao aumento da expansão urbana encontra-se ao longo da zona costeira da Ilha do Maranhão, de acordo com Coelho (2006), sobretudo nas praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Caolho, Olho d'água e Araçagi, com intensificação das edificações.

De acordo com Siqueira et al (2009), mesmo considerando este crescimento populacional e a expansão urbana, o alcance dos serviços de saneamento básico na Ilha do Maranhão é proporcionalmente reduzido. Por meio da análise de dados do IBGE, estima-se que no ano de 2009, o número de domicílios ligados a rede coletora de esgoto chegou a cerca de 60%, contudo a ausência de saneamento básico no município, representado sobretudo pela inoperância das estações de tratamento de esgoto, agravado pela falta ou insuficiência de estudos sobre drenagem urbana, tornam este dado desprezível.

Em algumas pesquisas realizadas pertinentes ao tema, percebe-se de forma obviamente não conclusiva ou exaurida que o uso, ocupação e expansão urbana na zona costeira devem ser orientados e desenvolvidos considerando o planejamento urbano e o saneamento ambiental (ÂNGULO, 2000; ANELE *et al*, 2002; SILVA *et al*, 2003; POLIDORI, 2004; PIZZOL, 2006; PIERRI *et al*, 2006; ARAÚJO *et al*, 2007).

Em síntese, para prevenir é preciso prever, e para prever é preciso conhecer. E é justamente neste intuito que se enquadra esta pesquisa. Mas, ainda assim faz-se necessários mais estudos pertinentes ao uso, ocupação e expansão urbana na Ilha do Maranhão, não apenas na forma de diagnóstico, mas também tanto na elaboração de plano de ações mitigadoras dos impactos ambientais advindos como no cumprimento dos limites legais impostos para o uso e ocupação da orla marítima discutidos a seguir.



## **2.2 POLITICAS PÚBLICAS NA ZONA COSTEIRA: *uma breve contribuição***

Os marcos legais aqui contidos tratam do ordenamento dos usos e das formas de ocupação da Zona Costeira, de seus limites e correlatos, no entanto sem o objetivo de esgotá-los. Entende-se que os parâmetros legais apresentados aqui, por si só, constituem-se importantes recursos para o processo de gestão ambiental.

### **2.2.1 Constituição Federal, de 05 de outubro de 1988**

Admite no Artigo 225, § 4º, a Zona Costeira como patrimônio nacional, e com sua utilização dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais. No seu Artigo 20, trata das praias marítimas como bens da União.

### **2.2.2 Constituição do Estado do Maranhão, de 05 de outubro de 1989**

Em seu Artigo 241, § 5º, d), Traz a Zona Costeira como área de relevante interesse ecológico e cujo uso depende de prévia autorização. Ainda no mesmo artigo, § 6º, assegura o gerenciamento costeiro dos recursos hídricos continentais

### **2.2.3 Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-I (PNGC I), Lei Federal nº 7661, de 16 de maio de 1988**

A primeira versão do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) foi apresentada em novembro de 1990 e aprovada na 25ª Reunião Ordinária do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Sua publicação se deu na forma da Resolução da Comissão Interministerial de Recursos do Mar - CIRM, nº 001/90.

Como parte integrante da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA, Lei 6.938, de 31 de Agosto de 1981) e da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM, Decreto nº 5.377, de 23 de fevereiro de 2005), o PNGC visa especificamente a orientar a utilização racional dos recursos na Zona Costeira, de forma a contribuir para elevar a qualidade da vida de sua população, e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (Art. 1º e 2º).

Entre os principais aspectos desta Lei destacam-se os seguintes:

(a) Estabelece como Zona Costeira o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, que serão definidas pelo Plano (Art.2º).

(b) Prevê o zoneamento de usos e atividades na Zona Costeira e oferece prioridade à conservação e proteção, entre outros, dos recursos naturais, renováveis e não renováveis; recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais, estuarinos e lagunares, baías e enseadas; praias; promontórios, costões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas; sítios ecológicos de relevância cultural e demais unidades naturais de preservação permanente; e monumentos que integrem o patrimônio natural, histórico, paleontológico, espeleológico, étnico, cultural e paisagístico (Art. 3º).

(c) Deve observar normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que contemplem entre outros, os aspectos: urbanização; ocupação e uso do solo, do subsolo e das águas; parcelamento e remembramento do solo; sistema viário e de transporte; sistema de produção, transmissão e distribuição de energia; habitação e saneamento básico; turismo, recreação e lazer; patrimônio natural, histórico, étnico, cultural e paisagístico (Art. 5º).

(d) Prevê que os Estados e Municípios poderão instituir por lei, os respectivos Planos Estaduais ou Municipais de Gerenciamento Costeiro, observadas as normas e diretrizes do Plano Nacional, inclusive sobre o uso do solo, do subsolo e das águas, bem como limitações e utilização de imóveis, e designar os órgãos competentes para a execução dos mesmos (Art. 5º, § 1º e § 2º).

(e) Sobre as praias, estabelece que estas são bens públicos de uso comum do povo, sendo assegurado, sempre, livre e franco acesso a elas e ao mar, em qualquer direção e sentido, ressalvados os trechos considerados de interesse de segurança nacional ou incluídos em áreas protegidas por legislação específica; entende por praia a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou, em sua ausência, onde comece um outro ecossistema; e define que não será permitida a urbanização ou qualquer forma de utilização do solo na Zona Costeira que impeça ou dificulte o acesso assegurado (Art. 10; § 1º e 3º).

#### **2.2.4 Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-II (PNGC II), Resolução da Comissão Interministerial de Recursos do Mar nº05, de 03 de dezembro de 1997**

Após aprovação na 48ª Reunião Ordinária do CONAMA, introduziu como uma importante orientação, a acentuação do nível de atuação federal, pouco contemplada anteriormente. Foi incluída a criação do Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O PNGC-II adota como os princípios orientadores para o gerenciamento costeiro: (a) *Princípio da precaução*, que se refere à obrigação do responsável pela atividade potencialmente poluidora ou degradadora de prever todo e qualquer dano e custear todos os equipamentos e atividades para minimizar ou eliminar o dano ambiental, representado também pelo licenciamento ambiental; e (b) *Princípio do poluidor-pagador*, sobre a obrigação do poluidor ou degradador vir a reparar todo e qualquer dano ambiental verificado, com a indenização ao meio ambiente e a terceiros prejudicados pela implantação e/ou operação de sua atividade. O PNGC-II retoma também os limites da Zona Costeira, na sua faixa marinha, que se estende mar adentro distando 12 milhas marítimas das linhas de base, e na sua faixa terrestre, que é parte do continente que sofre influência direta dos fenômenos ocorrente na Zona Costeira.

De acordo com o Plano de Ação Federal da Zona Costeira do Brasil (PAF, 2005), o PNGC II focaliza, estrategicamente, o estabelecimento de diretrizes comuns e articulações sistemáticas entre as políticas setoriais da própria União, em seu exercício na zona costeira, inclusive com a previsão de elaboração de planos de gestão nas diferentes esferas de governo, como princípio de harmonização de políticas, via instrumentos de ordenamento ambiental territorial, entendido como processo de gestão integrada, descentralizada e participativa, das atividades socioeconômicas nos espaços costeiros, visando compatibilizar o aproveitamento de seus potenciais econômicos e a preservação da estrutura e função dos ecossistemas envolvidos, garantindo a qualidade de vida da população e a proteção de seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural.

#### **2.2.5 Decreto Presidencial nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004**

Em linhas gerais, o Decreto nº 5.300/ 04 regulamenta o PNGC-II e os limites, os objetivos, os instrumentos, as competências e as atribuições da gestão e do uso e ocupação da zona costeira; e estabelece os limites e competências para a gestão da orla marítima,

fornecendo os instrumentos voltados à implementação do 'Projeto Orla' pelos municípios costeiros.

Além dos itens definidos pelas versões anteriores do PNGC, no Decreto nº 5.300/ 04 destacam-se os seguintes aspectos:

(a) Estabelece como objetivos da gestão da zona costeira, entre outros, o ordenamento do uso dos recursos naturais e da ocupação dos espaços costeiros, bem como o estabelecimento de um processo de gestão integrada, descentralizada e participativa das atividades socioeconômicas, de modo a contribuir para a elevação da qualidade de vida da população e para a proteção do patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (Art. 6º, § 1º e 2º).

(b) Prevê que qualquer estabelecimento na zona costeira deverá ser compatível com a infra-estrutura de saneamento e sistema viário existentes, preservando suas características ambientais e a qualidade paisagística, bem como na hipótese da inexistência de coleta de lixo e de rede de esgoto sanitário, que o empreendedor deverá apresentar solução autônoma, compatível com as características físicas e ambientais da área do empreendimento (Art.16).

(c) Estabelece os limites da orla marítima, tanto na sua faixa marítima, que se estende em direção ao mar até a linha da isóbata de dez metros, como a estreita faixa terrestre, que se estende até cinquenta metros em áreas urbanizadas ou duzentos metros em áreas não urbanizadas, a partir da linha da preamar ou do limite final dos ecossistemas praia, duna, costão rochoso, manguezal etc., onde estão situados os Terrenos de Marinha e seus acréscimos.

(d) Prevê a elaboração de um Plano de Intervenção como instrumento para a gestão da orla marítima, com base no reconhecimento das características naturais e do tipo do uso e ocupação da orla, existentes e projetados, e em conformidade com o planejamento federal, estadual e municipal da zona costeira (Art. 25).

### **2.2.6 Decreto nº 5.377, de 23 de fevereiro de 2005**

Trata da aprovação da versão atualizada da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), regulamentada em 1980. Tal política tem por finalidade orientar o desenvolvimento das atividades que visem à efetiva utilização, exploração e aproveitamento dos recursos vivos e não-vivos do Mar Territorial, da Zona Econômica Exclusiva e da

Plataforma Continental, de acordo com os interesses nacionais, de forma racional e sustentável para o desenvolvimento socioeconômico do País.

Para tanto, a PNRM tem como estratégias a formação de recursos humanos, o estímulo a pesquisa, ciência e tecnologia marinhas, e incentivo a exploração e o aproveitamento sustentável dos recursos do mar. Entenda-se recursos do mar como todos os recursos vivos (recursos pesqueiros e a diversidade biológica) e não-vivos (recursos minerais e energéticos) existentes nas águas sobrejacentes ao leito do mar, no leito do mar e seu subsolo, bem como nas áreas costeiras adjacentes.

### **2.2.7 Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005**

Trata do enquadramento das águas e dos padrões de qualidade de água, incorporando e atualizando as versões anteriores, as Resoluções CONAMA n° 20, de 18 de junho de 1986, e n° 274, de 29 de novembro de 2000. Classifica as águas doces, salobras e salinas em treze classes de qualidade segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. As águas salinas destinadas à recreação de contato primário, no qual se inserem as praias, fazem parte da Classe 1 (Art. 5º, II, a). Define critérios para a classificação de águas destinadas à recreação de contato primário e especifica o objetivo das pesquisas de balneabilidade de analisar as águas de cada balneário, determinando se estas estão *Próprias* (em categorias *Excelente*, *Muito Boa*, *Satisfatória*) ou *Impróprias* para o banho (Art.27), de acordo com os níveis dos indicadores propostos, coliformes termotolerantes, *E. Coli* e entecocos. Contudo tal resolução não fixa padrões para alguns destes elementos, como o caso de turbidez e condutividade elétrica da água.

Um dado que merece destaque sobre as Resoluções CONAMA supracitadas, diz respeito a diferença marcante entre os padrões utilizados na classificação quanto a balneabilidade. Na Resolução CONAMA n°274/00, a qual é referida diretamente pela resolução em vigor, prevê a utilização de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e enterococos como indicadores de balneabilidade, em lugar dos coliformes fecais e coliformes totais preconizados pela Resolução CONAMA n° 20/86. Para fins comparativos, a **Tabela 2.1** traz respectivos níveis aceitáveis dos indicadores de balneabilidade das duas resoluções supracitadas. Outros indicadores, como pH e oxigênio dissolvido (OD) que foram utilizados na pesquisa, tiveram os níveis anteriores mantidos.

**TABELA 2.1 – Limites de coliformes, *E.coli* e enterococos, em NMP/100mL da amostra, de acordo com as Resoluções CONAMA n°357/05 e n° 20/ 86.**

Indicadores	Classificação				
	Própria			Imprópria	
	Excelente	Boa	Satisfatória		
<b>Resolução</b> <b>CONAMA n° 20/</b> <b>86.</b>	<b>Coliformes totais</b> (NMP/100 mL)		< 1000		> 1000
	<b>OD (mg/L)</b>		> 6		< 6
	<b>pH</b>		6,5 - 8,5		< 6 e > 9
<b>Resolução</b> <b>CONAMA n° 357/</b> <b>05 (*)</b>	<b>Coliformes</b> <b>termotoletantes</b> (NMP/100 mL)	≤ 250	≤500	≤ 1000	≥1000 ≥2500
	<b><i>E. coli</i></b> (NMP/100 mL)	≤ 200	≤400	≤ 800	≥ 800 ≥2000
	<b>Enterococos</b> (NMP/100 mL)	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≥ 100 ≥ 400
	<b>OD (mg/L)</b>		> 6		< 6
	<b>pH</b>		6,5 - 8,5		< 6 e > 9

(\*) Nota: A Resolução CONAMA n° 357/ 05 utiliza-se dos padrões fixados pela Resolução n° 274/ 00.

### 2.2.8 Plano Diretor do Município de São Luis, Lei n° 4.669 de 11 de outubro de 2006

Refere-se em seu Artigo 29, § 2º, as praias como Áreas de Uso Sustentável, isto é, áreas destinadas a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade de forma socialmente justa e economicamente viável, e com o objetivo de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais. São também consideradas Áreas de Interesse Paisagístico (Artigo 92, § 4º).

É válido ressaltar que de acordo Plano Diretor, a política de uso e ocupação do solo do Município é subsidiada pelo Mapa de Vulnerabilidade Sócio-ambiental, que indica as áreas potenciais de risco geológico, voltadas para melhoria da qualidade de vida da população (Parágrafo único). Neste aspecto de acordo com pesquisas, a orla marítima da Ilha do Maranhão é notoriamente uma área sensível e vulnerável a impactos ambientais inerentes ao

planejamento deficitário das formas de uso e ocupação do solo urbano (MARANHÃO, 1991; FERREIRA, 1993; TAROUCO, 2002; NOVAES et al, 2007).

### **2.2.9 Outras publicações**

No plano internacional, a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM, 1982), que entrou em vigor em 1994, possui uma relação direta com o PNGC ao destacar, no seu Artigo 194, “*a necessidade dos países em prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio marinho... e esforçar-se por harmonizar as suas políticas a esse respeito*”. Esses pressupostos constam também na Declaração do Rio de Janeiro, sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), e no capítulo 17 da Agenda 21. No tocante, a Agenda 21 Brasileira (2002) reconhece e afirma a necessidade de continuidade do Projeto de Gerenciamento Costeiro enquanto ação que contempla os princípios básicos para promoção do desenvolvimento sustentável no País.

PAF (2005) cita outros acordos internacionais também importantes nos desdobramentos na perspectiva da gestão integrada dos ambientes costeiro e marinho no Brasil, quais sejam: especialmente devido à crescente problemática de poluição, tratada principalmente no contexto da Organização Marítima Internacional (IMO), como a Convenção Internacional para Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL, 1973/78), a Convenção Internacional sobre Mobilização de Recursos, Resposta e Cooperação Contra Poluição por Óleo (OPRC, 1990), a Convenção de Londres sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias (LONDON CONVENTION, 1972), a Convenção Internacional de Responsabilidade Civil por Danos Causados pela Poluição por Óleo (CLC/69), e, recentemente, a adoção da Convenção Internacional sobre Controle e Gestão de Água de Lastro e Sedimentos de Navios.

## 2.3 SUSTENTABILIDADE E GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO

### 2.3.1 Considerações sobre o conceito de Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade

De acordo com Van Bellen (2002), o conceito de Desenvolvimento Sustentável é resultado de um longo processo histórico de reavaliação crítica da relação existente entre a sociedade civil e seu meio natural. Concordando com o autor, Bossel (1999) afirma que o conceito de Desenvolvimento Sustentável deve ser dinâmico, já que a sociedade e o meio ambiente sofrem mudanças contínuas, as tecnologias, culturas, valores e aspirações se modificam constantemente e uma sociedade sustentável deve permitir e sustentar estas modificações.

O Relatório Brundtland, também conhecido como o documento “Nosso Futuro Comum”, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1987, traz uma das definições mais conhecidas para o Desenvolvimento Sustentável. Assim sendo, este é entendido como “*desenvolvimento que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades*” (WCED, 1987). Em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi legitimado, oficializado e difundido o conceito de Desenvolvimento Sustentável, bem como foi desenvolvida a Agenda 21 para propor normas para o progresso do desenvolvimento.

Após a ascensão do conceito de Desenvolvimento Sustentável, alguns autores como Gallopin (1996), IISD (1996), Hardi & Barg (1997), de Kruijf & Van Vuuren (1998), Van Bellen (2002) e Bidone & Morales (2005) defendem dimensões diversas para a sustentabilidade, tais como:

(a) *Econômica*. Abrange alocação e distribuição eficientes dos recursos naturais dentro de uma escala apropriada; vê o mundo em termos de estoques e fluxos de capital (capital natural, capital humano e capital social); o problema neste caso se refere a manutenção do capital em todas suas formas.

(b) *Social*. Da ênfase à presença do ser humano na ecosfera. A preocupação principal, dentro desta linha, é com o bem-estar humano, a condição humana e os meios utilizados para aumentar a qualidade de vida desta condição.

(c) *Ambiental*. Significa ampliar a capacidade do planeta através da utilização do potencial encontrado nos diversos ecossistemas, ao mesmo tempo em que se mantém um nível mínimo de deterioração dos mesmos.



(d) *Geográfica*. Pode ser alcançada por meio de uma melhor distribuição dos assentamentos humanos e das atividades econômicas; procura uma configuração rural-urbana mais adequada para proteger a diversidade biológica e melhorar a qualidade de vida das pessoas.

(e) *Cultural*. Está relacionada ao caminho da modernização sem o rompimento da identidade cultural dentro de contextos espaciais específicos.

Ainda sobre as sustentabilidades, Rabelo (2007) esclarece que existem três níveis que fornecem um caminho quando se pretende escolher o que sustentar: (1) *sustentabilidade fraca*, concepção neoliberal que privilegia o capital físico, podendo substituir o capital natural pelo físico dando ênfase a tornar sustentável o capital; (2) *sustentabilidade forte*, concepção fundamentalista que acredita que somente a paralisação de qualquer exploração natural propiciará um desenvolvimento; e (3) *sustentabilidade sensata*, aqui se permite a exploração do capital natural, porém conhecendo-se os limites dos recursos, isto é, o natural é a base.

Diante destas possibilidades, cabe salientar, no entanto, que enquanto o ecodesenvolvimento manteve preso a um enfoque ambiental crítico, o Desenvolvimento Sustentável submete-se a uma racionalidade predominantemente econômica, como acentua Leff (2000). Algumas críticas surgem, das quais o autor destaca a vulgarização do termo 'sustentabilidade', a diluição e perversão do conceito de ambiente, a negação das condições ecológicas e termodinâmicas que estabelecem os limites das transformações da natureza, entre outras.

Independente das diversas visões sobre a questão é fato que o Desenvolvimento Sustentável está presente como questão fundamental nas políticas atuais. Por isso, é cada vez mais importante a identificação de maneiras de avaliar o progresso na perspectiva do desenvolvimento sustentável. No caso desta pesquisa, a construção e aplicação de modelos e indicadores compõem ferramentas de auxílio à avaliação da sustentabilidade socioambiental e gestão da orla marítima da Ilha do Maranhão.

### **2.3.2 Considerações sobre Gerenciamento Costeiro Integrado**

O Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI), de acordo com Cicin-Sain & Knecht (1998), é um processo contínuo e dinâmico por meio do qual decisões são tomadas visando o uso sustentável das áreas costeiras e marinhas e seus recursos. Ainda de acordo com

estes autores, a atuação do GCI vincula-se às interações entre os múltiplos usos, tratando-os sistematicamente e partindo de uma escala ampla de entendimento dos problemas.

Como já mencionado, o Gerenciamento Costeiro foi estabelecido como política pública inicialmente pela Lei nº 7.661/88, o PNGC-I, e pela Resolução CIRM nº05/97, o PNGC-II, sendo posteriormente regulamentado pelo Decreto Presidencial nº 5.300/ 04, que expõe, como um dos seus objetivos, o estabelecimento de um processo de gestão integrada, descentralizada e participativa das atividades socioeconômicas, de modo a contribuir para a elevação da qualidade de vida da população e para a proteção do patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (Art. 6º, § 2º).

As relações entre o GCI e conceitos de Desenvolvimento Sustentável ficam evidentes ao se considerar os documentos resultantes da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92), em que o GCI foi adotado como conceito central na organização do esforço humano em busca do Desenvolvimento Sustentável das zonas costeiras, como ressalta Lima (2009).

Neste aspecto, Cicin-Sain & Knecht (1998), Olsen (2003) e Lima (2009) reiteram o papel do GCI como enfoque integrador dos múltiplos usos na zona costeira e como processo de planejamento e tomada de decisões. Estes autores ratificam também o papel da RIO-92 no consenso sobre (a) a finalidade (guiar o desenvolvimento da zona costeira de forma ecologicamente sustentável), (b) os princípios (da equidade inter e intragerações, da precaução e do poluidor-pagador), e (c) a função (de reforçar e harmonizar o gerenciamento da zona costeira) do GCI.

Não obstante, no capítulo 17 da Agenda 21 tem-se como metas do GCI:

- (a) Atingir o desenvolvimento sustentável das áreas costeiras e marinhas;
- (b) Reduzir a vulnerabilidade das áreas costeiras e de seus habitantes a perigos naturais;
- (c) Manter os processos ecológicos essenciais, os sistemas que dão suporte a vida e a diversidade biológica nas áreas costeiras e marinhas.

Perceba-se que o Desenvolvimento Sustentável tem sido uma meta a ser atingida pelo Gerenciamento Costeiro Integrado. Reconhecer este como meta implica na aceitação dos pressupostos sobre os quais ele se constitui. Como visto no item anterior, a complexidade do conceito de Desenvolvimento Sustentável e das várias dimensões da sustentabilidade, longe de trazer homogeneidade às concepções e formulações, alude

intrinsecamente a uma heterogeneidade considerando as diversas leituras de mundo e os diferentes objetivos e projetos da sociedade.

Assim sendo, integração do tão desejado Desenvolvimento Sustentável ao não menos quisto Gerenciamento Costeiro torna-se tarefa ainda mais árdua.

### **2.3.3 Expectativas para a Sustentabilidade e o Gerenciamento Costeiro Integrado**

Diante do exposto nos itens anteriores, surge a necessidade de desenvolver ferramentas e instrumentos de auxílio ao gerenciamento e a gestão costeiras que incorporem a concepção de sustentabilidade. Nesta pesquisa, foram propostas ferramentas de diagnóstico e de predição desenvolvidas por meio de diálogo entre ambiente urbano e o natural, no âmbito do Desenvolvimento Sustentável.

A seguir, foram apresentadas algumas considerações sobre séries temporais e modelagem, importantes ao desenvolvimento e execução desta pesquisa.

#### ***2.3.3.1 Séries temporais e modelos numéricos como ferramentas***

Nesta pesquisa, foram propostos como ferramentas de auxílio ao GCI e a sustentabilidade da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil), reciprocamente complementares: *séries temporais*, funcionando como ferramentas de diagnóstico da evolução e do comportamento de algumas variáveis socioambientais ao longo do tempo; e *modelos numéricos*, funcionando como ferramentas de explicação e predição para as condições socioambientais, ambos preponderantes em gerar informações aos tomadores de decisões e a população. Contudo, é válido salientar, que as séries temporais e os modelos alargam as informações, mas não produzem números inquestionáveis. Tentando simplificar um sistema complexo, estes podem gerar resultados imperfeitos.

Séries temporais, de acordo com Morettin & Toli (2008), constituem-se como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, tendo por finalidade principal a construção de modelos explicativos das mesmas segundo tanto um enfoque temporal quanto um domínio de frequências. O pressuposto básico da análise de séries temporais é de que os fatores que influenciaram o comportamento da série no passado, continuarão a fazê-lo no futuro. Assim sendo, as séries temporais geram concomitantemente modelos explicativos da variabilidade no comportamento das variáveis e da tendência ao longo do tempo, identificando as componentes aleatórias e ou determinísticas, bem como modelos preditivos de tais características.

Na análise de séries temporais, uma série temporal pode ser dita *contínua* quando as observações são feitas continuamente no tempo, como no caso das séries temporais de vazão utilizadas nas pesquisas de Ballini (2000), Moratti *et al* (2004) e Buchianeri (2004) e na análise de fenômenos metrológicos realizada por Figueiredo (1996) e Bega (2003). Enquanto que uma série temporal é pode ser dita *discreta* quando as observações são feitas em tempos específicos, geralmente igualmente espaçados, como no caso das séries temporais de elementos de qualidade de água coletados mensalmente utilizados nas pesquisas de Boolmann (2003) e Groppo (2005). Uma série temporal também pode ser multivariada, onde várias séries correlacionadas devem ser analisadas conjuntamente quando se dispõe de informações adicionais de outras séries.

As séries temporais podem ter os seguintes objetivos (EHLER, 2003; MORETIN & TOLOI, 2008):

(a) *Descrição*. Descrever propriedades e comportamentos da série (padrão de tendência, existência de variação sazonal ou cíclica, *outliers*, alterações estruturais).

(b) *Explicação*. Construir modelos que permitam explicar o comportamento da série no período observado.

(c) *Controle*. Os valores da série temporal medem a qualidade de um processo de manufatura e o objetivo é o controle do processo.

(d) *Predição*. Predizer valores futuros com base em valores passados, a longo e curto prazo. Aqui se assume que o futuro envolve incerteza, por isso tenta-se reduzir os erros de previsão.

Uma série temporal pode ser decomposta em um conjunto de componentes e ou movimentos (MORETTIN & TOLOI, 2006; MALETZKE, 2009). Neste aspecto, a representação gráfica dos dados seqüencialmente ao longo do tempo é fundamental e pode revelar padrões de comportamento importantes. A partir do gráfico temporal, pode-se decompor a série temporal de acordo com tendências, padrões cíclicos (ou sazonalidade) ou componentes aleatórias (ou resíduos).

Existem diversos métodos para realizar a decomposição de uma série temporal como (a) ajustamentos (de acordo com uma função linear, quadrática, polinomial) e (b) filtragem (filtros simétricos – como a técnica da média móvel; filtros assimétricos – como a técnica do alisamento exponencial; e diferenciação), como aponta Brockwell & Davis (1996). A decomposição atende ao objetivo das séries temporais de descrição.

A tendência compreende o movimento dominante de uma série temporal, isto é, com uma mudança, em um longo intervalo de tempo, ou de longo prazo no nível médio da série temporal. Em função da dificuldade em se definir longo prazo, análise de tendência em uma série temporal deve-se observar o número de observações disponíveis, como ressalta Groppo (2005) e Maletzke (2009). A sazonalidade refere-se a movimentos similares que ocorrem regularmente em um intervalo de tempo fixo (dias, meses, anos). Pode identificar características importantes do fenômeno, ao mesmo tempo que pode mascarar a característica de interesse. Portanto, segundo, Chatfield (2004) e Morettin & Toloí (2006), este componente deve ser identificado, e, de acordo com o ensejo da pesquisa, ser removido ou suavizado. O componente aleatório ou resíduo são os movimentos aleatórios ou irregulares correspondentes aos deslocamentos esporádicos de uma série temporal (MALETZKE, 2009). Compreende uma parte não explicada da série temporal, associado a processos extrínsecos paralelos aos processos de interesse. Assim, Considerando um série temporal  $Z_t$ , com tendência ( $T_t$ ), sazonalidade ( $S_t$ ) e uma parte não explicada, aleatória ( $E_t$ ), tem-se que:  $Z_t = T_t + S_t + E_t$ .

Groppo (2005) se remete a alguns métodos estatísticos utilizados na descrição de séries temporais, a Análise de Agrupamento (Cluster), para explorar as similaridades entre os indivíduos e as variáveis definindo-os em grupos, o Teste Mann-Kendall, baseado na hierarquização dos dados para verificar se há significância estatística, e o Teste de Kruskal-Wallis para verificação de sazonalidade. Maletzke (2009) também ressalta algumas medidas próprias da estatística descritiva nesta etapa da análise de séries temporais, como média, variância, curtose e obliquidade.

A estratégia de construção de séries temporais é baseada em um ciclo iterativo, no qual a seleção da estrutura para esta construção é baseada nos próprios dados (MORETTIN & TOLOI, 1981). A primeira etapa é a especificação e identificação do modelo baseado na auto-correlação, auto-correlação parcial entre as variáveis e ou em outros critérios, para em seguida culminar na estimação de seus parâmetros. Gerando na seqüência, um modelo de regressão (linear, logística, exponencial, polinomial), auto-regressivos (AR), de médias móveis (MA), ou mistos, como os auto-regressivos de médias móveis (ARIMA) (BALLINI, 2000; MORETTIN & TOLOI, 2006; MALETZKE, 2009). No caso desta pesquisa, optou-se por modelos de regressão em função da facilidade da leitura das informações no espaço  $R^2$ .

Uma das formas de utilização de um modelo ajustado é para fazer previsões de valores futuros. As previsões geralmente podem ser feitas dentro do período amostral e comparadas com os valores observados, sendo uma prática bastante comum para checar a

performance preditiva do modelo. Também se podem simular situações em que os valores observados são hipotéticos, culminando na construção de cenários (RIBEIRO, 2009; MORETTIN & TOLOI, 1991). Algumas pesquisas sobre previsões por meio de modelos de séries temporais vêm sendo realizadas no âmbito da gestão de recursos hídricos, como os trabalhos de Ballini (2000) e Groppo (2001) sobre análise e previsão de vazões, e como os trabalhos de Azevedo *et al* (1998) e Albertin (2004) sobre a geração de modelos como apoio ao processo de tomada de decisão.

A construção de modelos, sejam eles explicativos ou preditivos, é inerente a análise das séries temporais. Os modelos são utilizados para entender e representar comportamentos e prever condições adversas a estes, como ressalta Buchianeri (2004). Segundo De Coursey (1985) os modelos podem ser utilizados dentro de um sistema para estruturar dados, estudar respostas locais, selecionar e avaliar parâmetros, estudar a significância da variabilidade, e antecipar eventos e fazer previsões.

Em um sistema, entendido como um conluio de causa e efeito, entrada e saída, e estímulo de energia e respostas de energia (DOOGE, 1973), tem-se algumas definições pertinentes para melhor compreensão dos modelos ali aplicados: (a) *Fenômenos*, processos físicos, químicos e ou biológicos que produzem alteração no sistema; (b) *Variável*, valor que descreve quantitativamente um fenômeno, variando no espaço e tempo; (c) *Parâmetro*, valor que caracteriza o sistema, também podendo variar no espaço e tempo; e (d) *Simulação*, processo de utilização do modelo, compreendo as fases de calibração (determinação dos parâmetros por meio de dados históricos, medições amostrais, determinações de características do sistema), de validação (verificação dos parâmetros escolhidos) e previsão (aplicação do modelo para quantificação de respostas).

Angelini (1999) e Gomes & Varriale (2005) referem que, os modelos podem se diferenciar quanto:

- (a) Finalidade: podem ser usados para pesquisa ou para manejo.
- (b) Variabilidade: podem ser *estocásticos*, quando conceitos de probabilidade são inseridos; ou *determinísticos*, com uma abordagem de causa e efeito e previsibilidade.
- (c) Conteúdo: podem ser *conceituais*, constituindo a conceitualização do sistema com leitura dos processos intrínsecos e extrínsecos; ou *empíricos* (numéricos), que se ajustam valores aos dados observados no sistema.
- (d) Função que o representa: podem ser *lineares* ou *não-lineares*.

- (e) Solução de equações: podem ser *analíticos* (no caso de modelos conceituais); ou *numéricos* (no caso de modelos empíricos).
- (f) Parâmetros: podem ser *fixos*, quando a quantidade de parâmetros é fechada; ou *variáveis*, quando o modelo permite a entrada ou troca de parâmetros.
- (g) Tempo: podem ser *estáticos*, quando os sistemas estão em equilíbrio; ou *dinâmicos*, quando os sistemas não estão em equilíbrio, e os seus estados mudam continuamente em função do tempo.

A proposta da pesquisa se diferencia de outras ferramentas por se tratar de modelos reduzidos, uma vez que a maioria dos modelos se utiliza de um número elevado de variáveis e/ou parâmetros que nem sempre são colhidos em tempos relativamente curtos o que os torna deficientes perante a necessária rapidez, quando não urgência, com que devem ser relatadas as informações aos tomadores de decisões, visando a prevenção de danos socioambientais e econômicos.

No escopo deste trabalho, teve-se o intuito de análise de séries temporais de coliformes totais na água de trechos de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil), para posterior correlação com pressões antrópicas e incorporação em modelos, buscando extrair conhecimento necessário a sustentabilidade e a gestão da área estudada, e torná-lo inteligível aos tomadores de decisão e população.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia parte da análise histórico-espacial, aliada ao conhecimento do quadro atual, considerando dados socioeconômicos e ambientais, de modo a compatibilizá-los ao desenvolvimento local e sustentável, priorizando as propostas de ordenamento territorial de auto-sustentação e melhoria das condições socioambientais da zona costeira.

A pesquisa foi executada em três etapas: (a) *Etapa I*, trata do levantamento de dados e variáveis necessários as etapas seguintes; (b) *Etapa II*, consiste na construção e análise de séries temporais de dados; (c) *Etapa III*, trata da formulação de modelos numéricos; e (d) *Etapa IV*, traz teste da aplicação dos modelos em cenários.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área territorial da Ilha do Maranhão é de 827 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em cerca de 1.000.000 habitantes pelo IBGE (2009) e com um litoral com extensão avaliada em 32 km, como destaca Oliveira (2007). Segundo Novaes *et al* (2007), a Ilha do Maranhão ocupa a parte setentrional do Golfão Maranhense, parte integrante da Bacia Costeira de São Luís, formada durante o Cretáceo, limitando-se ao norte pela Plataforma Ilha de Santana, ao sul pelos Altos Estruturais Arco Férrer Urbano Santos, a leste pelo Horst de Rosário e a oeste pelo Arco de Tocantins. A seqüência sedimentar é constituída por intercalações de arenitos, arenitos argilosos, lamitos e calcário (AB'SABER, 1960).

Em linhas gerais, segundo Rebouças & Silva (1972), dentre as formações geomorfológicas da Ilha do Maranhão, do interior para costa, percebe-se a presença de mesas dissecadas – áreas mais altas formadas pela evolução de processos de dissecação em interflúvios tabulares; colinas dissecadas – áreas de transição entre as topografias mais alta e mais baixa; e a Planície Fluvial – áreas baixas vinculadas aos vales da drenagem principal, como planícies das ingressões quaternárias, vales fluviais e manguezais.

Manguezais, Restingas, Babaçuais, Florestas Secundárias (Capoeiras), Matas de Várzeas e Matas de Galeria são as principais tipologias vegetais da Ilha do Maranhão (MARANHÃO, 1991). Segundo a classificação de Koeppen, o clima da Ilha do Maranhão é do tipo AW, Tropical Chuvoso, com predominância de chuvas nos meses de janeiro a abril e precipitação pluviométrica média de 1.954 mm (OLIVEIRA, 2007).

O Zonamento Geoambiental do Maranhão (IBGE, 1998) complementa estas informações destacando duas formações principais na Ilha do Maranhão:



(a) *Planícies litorâneas* são áreas planas, em cotas altimétricas que não ultrapassam os 10 m, recortadas por canais, resultantes da acumulação flúvio-marinha, constituída por sedimentos ternários inconsolidados, com locais de mangue, apresentando um clima úmido com pluviosidade anual em torno de 2.000 mm.

(b) *Tabuleiros Costeiros* são áreas de relevo plano com altitude em até 40 m, em coberturas detríticas com latossolo amarelos; dissecados em colinas; e onde a cobertura foi retirada, afloram os sítios e argilitos da Formação de Itapecuru com colinas e podzólicos vermelho-amarelos concretacionários. Apresenta clima úmido com pluviosidade anual variando de 1.500 a 2.000 mm.

Para o estudo da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil) foram selecionadas as cinco praias da Ilha do Maranhão, Ponta d' areia, São Marcos, Calhau, Olho d' água e Araçagi. A seleção da área fundamentou-se no interesse para o diagnóstico histórico-espacial, e em função de (a) ter sido realizado monitoramento e pesquisas sobre a qualidade da área e (b) ser uma área bastante freqüentada pela população fixa e flutuante.

As feições morfológicas do perfil praiial são bem caracterizadas pela Antepraia, Estirâncio, Pós-praia e Dunas ou Falésias. Apresentam uma larga zona de surfe e arrebenção Progressiva (*Spilling Breaker*), onde as ondas atingem cerca de 1,1 m de altura e período de 6 segundos (REBELO-MOCHEL et AL, 1998).

Ainda de acordo com Rebelo-Mochel et al (1998), os perfis transversais da área ao Norte da Ilha do Maranhão apresentam inclinação inferior a 5°, com um grau médio de exposição às ondas, uma larga faixa intermarés com cerca de 300 – 400 m na praia do Araçagi (TAROUCO & SANTOS, 1997), de 300 – 400 m no Calhau, São Marcos e Ponta d'Areia (FEITOSA, 1989), onde o pontal arenoso desta última atinge mais de 2.000 m. O fluxo estuarino de rios, como o Anil e Bacanga, é responsável pela retenção de sedimentos e engorda destas praias (SANTOS, 1989).

Os sedimentos ao longo do prisma praiial são constituídos essencialmente por areias quartzosas finas (0,177 – 0,128 mm) a muito finas (0,88 – 0,062 mm), muito bem selecionadas, muito pobre em fragmentos biogênicos, com assimetria dos grãos aproximadamente simétrica a positiva e curtose variando de leptocúrtica a mesocúrtica (SANTOS, 1989; TAROUCO & SANTOS, 1997; SOBRINHO, 1998; VIANA, 2000); considerando-se assim este trecho do litoral como Praias Dissipativas de Areia Fina, segundo a classificação proposta por (WRIGHT & SHORT, 1984).

### 3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO CONCEITUAL

Antes da elaboração das ferramentas de auxílio a sustentabilidade e gestão integrada da orla marítima em estudo, faz-se necessária a formulação prévia de um modelo conceitual, já que de acordo Valentin & Guimarães (2004), a etapa de conceitualização do sistema é muito importante no processo de construção de um modelo matemático. Além do fato de permitir ao pesquisador descrever sucintamente e simplificar as informações dentro do sistema pretendido, permitir formular hipóteses e caracterizar de forma integrada, dinâmica e simultânea dos processos operantes dentro do sistema estudado (HALL & DAY, 1977 apud JAMU & PIEDRAHITA, 2002; SANDIFER & HOPKINS, 1996).

Primeiramente, considerando a zona costeira como um sistema complexo (BARROS, 2007), deve-se reconhecer e delimitar os limites do sistema de interesse (ANGELINI, 1996), isto é, do compartimento da zona costeira em estudo. Assim sendo, a pesquisa trata basicamente de ‘praias’, estas se inserem no espaço de interação entre as faixas marítima e terrestre da orla marítima, tratando-se da área litorânea propriamente dita, como ressalta Barros (2007). Porém as interações antrópicas em suas características ambientais extrapolam os seus limites preconizados pelo PNGC II.

Desta forma, não é risco inferir que as praias, inseridas no contexto do sistema complexo da Zona Costeira, acabam por receber influência de fluxos de matéria, energia e informação provenientes de combinações entre os subsistemas ambiental, social e econômico. No intento de construir modelos conceituais e numéricos sob um olhar sustentável, cabe considerá-los como sendo: (a) dinâmicos, pois trata da evolução das interações, relações e combinações entre variáveis socioambientais em função do tempo; (b) estocásticos, pois os fatores que interferem na variabilidade não podem ser controlados; e (c) com finalidade de uso para o manejo e gestão.

No modelo conceitual desta pesquisa, consideram-se as pressões antrópicas (ou os fluxos, funções de transferência, processos de assimilação) os focos de poluição pontual nas praias, o tipo de esgotamento sanitário, densidade populacional, população urbana e área urbanizada. Estas interferem no estado da qualidade da água das praias, condicionada por variáveis oceanográficas (regime de maré) e tendem a gerar as respostas (institucionais) relacionadas ao respeito aos limites legais do uso e ocupação da orla marítima (Decreto Presidencial n.5.300/ 2005), monitoramento das condições ambientais da orla marítima, e em escala macro, melhorias no planejamento urbano local. Trata-se, portanto de um modelo em que imperam as inter-relações entre o ambiente urbano e o ambiente natural.

### 3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Vale salientar, que os modelos propostos pela pesquisa, bem como todo o procedimento, são tidos como ‘quase experimentais’, devido à impossibilidade de atribuição aleatória das áreas ou dos grupos, ou pela falta de completo controle na programação de estímulos (CAMPBELL & STANLEY, 1976). A sua aplicação requer cuidados no que concerne à variabilidade oferecida por todas variáveis em se tratando de um ambiente extremamente complexo como a zona costeira.

#### 3.3.1 Etapa I: Levantamento de dados

É importante ressaltar que a escolha de tais dados ficou condicionada a disponibilização pelas instituições geradoras e completude das informações obtidas, e obviamente, ao propósito maior da pesquisa de conferir maior simplicidade na avaliação do avanço em direção a uma gestão sustentável da orla marítima em estudo e na aplicação, extração e apresentação das informações aos gestores e população por meio das ferramentas propostas na pesquisa:

a. *Dados oceanográficos.* Referentes ao Regime da Maré (maré enchente e maré vazante) obtido junto a Capitania dos Portos do Maranhão e ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos. Estes dados se somam aos dados do próximo item para se observar a capacidade de diluição da carga poluidora.

b. *Dados referentes à qualidade da água das praias.* A priori, os dados secundários foram encontrados em relatórios de monitoramento ambiental, obtidos junto à Fundação Nacional de Saúde no Maranhão (FUNASA-MA), Secretaria do Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Maranhão (SEMA) e pesquisas acadêmicas, bem como dados primários, obtidos por pesquisa de campo e laboratorial, nos anos de 1989 a 2007. Os dados requeridos referem-se à análise bacteriológica (coliformes totais) e de elementos de qualidade de água (parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, condutividade, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez). Somente os trechos de praias que tiveram monitoramento contínuo dentro do intervalo de tempo de interesse da pesquisa foram considerados, assim sendo, somente os pontos da primeira coluna da **Tabela 3.1** foram utilizados na análise.

**TABELA 3.1 – Pontos de amostragem georreferenciados nas praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' Água e Araçagi, Ilha do Maranhão (Brasil), 2009.**

<b>Praia</b>	<b>Pontos georreferenciados</b>	
<b>Ponta da Areia</b>	02° 30' 15" S; 44° 19' 06.9" W (P1)	02° 29' 41" S; 44° 18' 28" W (P2)
<b>São Marcos</b>	2° 29' 15.40" S; 44° 16' 25.11" W (SM1)	02° 29' 7.07" S; 44° 16' 8.52" W (SM2)
<b>Calhau</b>	02° 28' 56.60" S; 44° 15' 5.97" W (CA1)	02° 28' 52.3" S; 44° 15' 18.5" W (CA2)
<b>Olho D'água</b>	02° 28' 43.3" S; 44° 13' 45.5" W (O1)	02° 28' 40" S; 44° 13' 54" W (O2)
<b>Araçagi</b>	02° 28' 06.3" S; 44° 12' 18.1" W (A1)	02° 27' 53.4" S; 44° 11' 51.7" W (A2)

Com relação aos dados primários referentes ao ano 2009, estes foram obtidos por meio de pesquisa em campo e laboratorial, segundo as recomendações da Resolução CONAMA nº274/ 2000 e nº357/ 2005 e da APHA (1999). Na análise microbiológica (coliformes totais) optou-se pelo uso do Teste Auto-analítico COLILERT/ QUANTI-TRAY, que permite leitura dos níveis mais prováveis de coliformes totais 24 horas após as coletas, conferindo rapidez e simplicidade aos resultados. A obtenção dos parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez) ocorreu *in situ*, durante as coletas de água para análise bacteriológica, por meio de sonda multiparâmetros.

As coletas de água para análise microbiológica (coliformes totais) ocorreram em domingos consecutivos, de abril a outubro/2009, e as condições de amostragem foram as mais críticas de acordo com a legislação, isto é, (1) em dias de maior afluxo de banhistas (domingos), (2) em pontos com maior afluência de banhistas, (3) na maré vazante, onde a diluição da carga poluidora é menor e (4) em pontos com presença efetiva de carga poluidora (esgotos *in natura*, por exemplo). No tocante, os pontos de coleta foram escolhidos no número de dois, de acordo com a maior continuidade nos monitoramentos realizados pela SEMA e ou FUNASA-MA com o intento de identificar padrões espaços-temporais nas séries de dados, como conta na **Tabela 3.1**.

c. *Dados referentes à evolução da expansão urbana.* Obtidos a partir da Análise de Setores Censitários, Censo 2000, Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio (PNAD) e Estimativas da População, fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As variáveis aqui adotadas foram (a) Densidade Populacional e (b) População Urbana, referenciadas pela literatura como influentes na qualidade da água de recursos hídricos (BOOLMANN, 2003; BARROS, 2007; CORDOVA, 2001), no intervalo de tempo pretendido pela pesquisa (1989 a 2007).

d. *Dados referentes ao saneamento básico.* Na Ilha do Maranhão é notório o déficit em saneamento básico, afetando diretamente os recursos hídricos na área de estudo. Desta forma, foi imperativa a adoção de algumas variáveis relacionadas, quais sejam (a) Tipo de esgotamento (Fossa séptica, Escadouro, Rede Coletora), obtidos por meio da Análise de Setores Censitários, Censo 2000 e Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio (PNAD/IBGE), e (b) Número de Focos de Poluição Pontual nas praias (rios, córregos, galerias, esgotos *in natura*), obtidos por meio de mapeamento georreferenciado na área de estudo.

Embora os dados pretendidos sejam em número considerável, muitos destes não foram incorporados nos modelos numéricos, visando à maior simplificação por ordem de prioridade (de acordo com as inter-relações estabelecidas). Os dados não utilizados também foram considerados pertinentes e providenciais à discussão dos resultados, bem como para outros estudos suplementares e complementares a esta pesquisa.

### **3.3.2 Etapa II: Construção e análise das séries temporais**

A construção e análise de séries temporais dos níveis de coliformes totais na água de praias da Ilha do Maranhão (Brasil) têm o intuito de funcionar como ferramentas de diagnóstico, fornecendo subsídios à gestão sustentável da orla marítima em estudo, na medida em que fornecem informações sobre o comportamento e a evolução ao longo do tempo. Em outras palavras, elas mostram perfis ou padrões existentes (ou não) importantes para a formulação de novos estudos e de planos de ações, como ressalta Mortatti et al (2004).

A metodologia proposta consta de adaptações de alguns métodos indicados nas pesquisas de Groppo (2005) e Cavalheiro (2003):

a. *Preparação dos dados.* Os dados de coliformes totais foram plotados em função do tempo. Em função do número reduzido de amostras, a distribuição dos dados tende a se afastar da normalidade, portanto pode haver a necessidade de tratamento destes dados. Assim, os dados

foram transformados com auxílio de transformação Box-Cox que indica qual a transformação (linear, logarítmica, quadrática etc) mais adequada numa tentativa de modificar a série temporal não normalmente distribuída em normalmente distribuída.

A opção por transformações foi baseada em testes de normalidade: (a) Testes de assimetria (G1) e curtose (G2), que definem o deslocamento em relação a média; (b) Teste de Shapiro-Wilk (W) para aderência à linha reta, onde similarmente a uma regressão, adotou-se o critério de Groppo (2003) de quanto mais próximo de 1 maior o ajuste.

Na identificação de *outliers*, foram adotadas etapas do Controle Estatístico de Processo (CEP) para definição dos limites, sendo Limite superior ( $LS = M + 3S$ ), Limite Inferior ( $LI = M - 3S$ ) e média dos dados (M), onde M é média da amostra e S é o desvio padrão amostral sendo as observações abaixo ou acima de três desvios-padrões (S) da média (M) ( $M \pm 3S$ ), estratégia similar ao adotado por Forester (2000) e Dal Cortivo (2005).

*b. Análise de tendências.* Para identificação e caracterização de tendências, utilizou-se o Teste de Tendências (A) baseado no Teste Qui-quadrado para associações entre dados, que indica a existência de tendência crescente ( $A > 0$ ) ou decrescente ( $A < 0$ ), importante na análise de comportamentos e padrões nas séries temporais.

Em seguida, foram traçadas curvas de regressão (linear, polinomial, exponencial, de potência, logarítmica) sobre os gráficos das séries temporais de forma a representar adequadamente as tendências identificadas.

*c. Análise de sazonalidade.* Foi utilizado o Teste de Kruskal-Wallis (H) para identificação da significância da sazonalidade. Este teste foi associado a gráficos do tipo Box-Plot para verificação da amplitude da sazonalidade.

Segundo Cavalheiro (2003), quando há grande variabilidade nos dados, tende-se a uma amplitude de sazonalidade variável, implicando em uma sazonalidade multiplicativa, influenciada por fatores multiplicativos. Quando a amplitude é constante, tem-se uma sazonalidade aditiva, não havendo necessidade de maiores cálculos.

*d. Obtenção das série temporais, dos fatores sazonais e comportamentos*

A obtenção da série temporal foi feita em função das tendências e sazonalidades identificadas nos itens anteriores, segundo a **Equação 1**.

$$Z_t = T_t + S_t + E_t$$

**(Equação 1)**

Onde,  $Z_t$  = série temporal para período de tempo  $t$ ,  $T_t$  = tendência estimada para período de tempo  $t$ ,  $S_t$  = sazonalidade estimada para período de tempo  $t$ ,  $E_t$  = resíduo ou erro estimado para período de tempo  $t$ .

As tendências estimadas ( $T_t$ ) correspondentes aos modelos de regressão obtidos na análise de tendências, considerando um período de tempo  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ . Estas tendências foram subtraídas das séries de dados observados, obtendo-se a série temporal destendenciada. Os dados da série sem tendências indicam a sazonalidade e o erro (componente aleatório, resíduo). **(Equação 2)**.

$$Y_t = Z_t - T_t$$

**(Equação 2)**

Onde,  $Y_t$  = série temporal sem tendência para período de tempo  $t$ , indicando sazonalidade mais o resíduo ( $S_t + E_t$ ),  $Z$  = série de dados original para período de tempo  $t$ ,  $T_t$  = tendência estimada para período de tempo  $t$ .

Caso a amplitude de sazonalidade seja variável, há necessidade do cálculo dos fatores sazonais multiplicativos. Estes fatores sazonais foram estimados da seguinte forma, segundo metodologia proposta por Cavalheiro (2003) e Tolo & Morettin (2006): (a) a média das sazonalidades por período, calculadas pela **Equação 2**, foram multiplicadas por 2, pois considera-se a sazonalidade simétrica; (b) em seguida, estes resultados versus os períodos ( $t = 1, 2, 3, \dots, n$ ) foram plotados em gráficos de dispersão; (c) por meio de análise de regressão, foram obtidas equações capazes de estimar os fatores sazonais por período. Estas equações foram incorporadas aos modelos numéricos descritos a seguir.

As sazonalidades mais resíduo, calculadas pela **Equação 2**, foram então divididas pelos fatores sazonais do respectivo período, obtendo-se a sazonalidade suavizada, que somadas as tendências estimadas resultam na série temporal. Esta série temporal permite identificação dos comportamentos, importante para o diagnóstico pretendido à gestão sustentável da orla marítima em estudo.

### **3.3.3 Etapa III: *Elaboração e proposição dos modelos numéricos***

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada na pesquisa a fim de avaliar as variáveis em termos de suas associações ou correlações de modo a se abstrair matematicamente um conjunto menor de variáveis básicas para compor os modelos numéricos.

Na construção dos modelos matemáticos simplificados como ferramentas de diagnóstico e predição, optou-se pela a Regressão Múltipla Stepwise, que testa e agrega todas as possíveis relações para se obter uma equação final com um menor número de variáveis em função da maior correlação entre as mesmas. Esta regressão também atribui pesos a cada variável em função das maiores correlações e permite que o pesquisador escolha qual variável melhor se adapta ao modelo desejado. Com a intenção de conferir maior realidade aos modelos, também foram incorporados os fatores sazonais identificados na análise das séries temporais.

Tomou-se como variável dependente ‘coliformes totais’, aqui tratada como principal indicativo de contaminação da água por esgotos domésticos, resultado da falta de planejamento urbano. Esta variável também ajuda a compor os indicadores de sustentabilidade ambiental, balneabilidade e qualidade de águas balneárias, propostos pelo IBGE (2000). Os modelos propostos fornecerão dados preditivos em caráter anual, sobre os níveis de coliformes totais na água das praias em estudo, fornecendo informações sobre as possíveis pressões antrópicas impostas ao ecossistema praial agregadas nos modelos.

Todos os dados obtidos serão tratados com o auxílio de softwares estatísticos de uso comercial.

### **3.3.4 Etapa IV: *Teste e aplicação dos modelos.***

É necessário que todo modelo seja submetido a uma validação do seu resultado, isto é, uma verificação da qualidade com que o modelo caracteriza o fenômeno em estudo (VELDKAMP & LAMBIN, 2001). A validação dos modelos numéricos foi feita por meio de comparações e análise da correlação entre os valores preditivos e valores observados de coliformes totais por praia em estudo levantados segundo o item **3.4.1.b**. Extraiu-se a média do ano 2009, após normalização dos dados segundo as etapas de preparação dos dados propostos no item **3.4.2.a**, comparando-as com os valores obtidos após inserção dos dados das variáveis do modelo, e por fim, obtendo-se os coeficientes de correlação (R) para confirmar ou não a qualidade dos modelos propostos.



Uma vez validados, os modelos foram testados em simulações na forma de cenários hipotéticos, otimista e pessimista, e discutidos á luz do interesse da gestão sustentável da orla marítima e do poder público da Ilha do Maranhão (Brasil).

### **3.4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A análise microbiológica foi realizada pelo método cromofluorogênico e pela técnica do substrato definido, pelo Teste Auto-analítico COLILERT/ QUANTI-TRAY, em função da rapidez (resultados em 24h), praticidade, maior sensibilidade e especificidade, minimizando possíveis erros sistemáticos na análise, segundo Bitton (2005). Os materiais e equipamentos utilizados foram: seladora Quanti-Tray, estufa microbiológica, gabinete de observação, pHmêtro, papel indicador, cartela Quanti-Tray, bolsa Nasco, termômetro, reagente Colilert. As análises foram desenvolvidas no Laboratório de Águas da FUNASA-MA, a qual também disponibilizou materiais e equipamentos para análise. As análises dos parâmetros físico-químicos ocorreram pelo método eletrométrico, por meio de sonda multiparâmetros HORIBA *in situ*.

Os softwares estatísticos utilizados na pesquisa foram Excel 2007, Statistica 9.0, BioEstat 5.0 e SPSS 11.6.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 BASE DE DADOS LEVANTADOS**

Como foi mencionado anteriormente, o levantamento e a escolha dos dados foi condicionada pela disponibilidade e completude dos mesmos, e pela simplicidade na obtenção, aplicação, extração e apresentação das informações e na avaliação do avanço em direção ao gerenciamento costeiro integrado e a sustentabilidade da orla marítima em estudo. Assim, esta etapa constituiu o arcabouço teórico para todas as demais etapas.

#### **4.1.1 Descrição dos dados levantados**

##### ***a. Dados oceanográficos***

O levantamento dos dados oceanográficos não ofereceu dificuldades à pesquisa, já que por meio do site do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO/CHM/DHN) (<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>) se obteve a tábua de marés, com referência ao regime da maré (vazante e enchente), com baixa margem de erro, relativa aos dias e hora da coleta das amostras de água nas praias em estudo.

Em função dos poucos recursos disponíveis à pesquisa, as coletas de água se restringiram à maré vazante, o que não destoa das coletas e análises dos dados secundários, também realizadas sob este regime.

##### ***b. Dados referentes à qualidade de água***

Os dados levantados de coliformes totais na água da Praia da Ponta da Areia compreenderam relatórios dos anos de 1989, 2003, 2005, 2006 e 2007; e anos de 1989, 2003 e 2007 para as praias do Calhau, São Marcos, Olho d' Água e Araçagy. Em função, da incompletude e da não-continuidade nas séries de dados.

A incompletude e a não-continuidade nas séries de dados representam um grande problema em pesquisas que pretendem tratar da evolução de variáveis ao longo do tempo, isto é, analisar séries temporais, já que estimações e extrapolações para complementação das séries implicam em diminuição ou perda da fidedignidade do estudo, de

acordo com Groppo (2009). Por esta razão, optou-se pelo uso de apenas estas séries de dados, em vez de projetar dados para completar as outras séries obtidas.

Nos dados referentes aos elementos de qualidade de água (parâmetros físico-químicos), identificou-se que muitos destes elementos são obtidos juntamente com a análise de coliformes totais ou mesmo *in loco* no ato da coleta de água em todas as séries de dados, como o caso de pH e temperatura. Porém, os demais elementos de qualidade de água (salinidade, condutividade elétrica, turbidez e oxigênio dissolvido) não estão presentes em todas as séries de dados, representando outra dificuldade para a pesquisa no que se refere à homogeneidade das praias e à participação de tais variáveis na construção dos modelos numéricos finais.

Todos os dados foram obtidos junto a Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Maranhão (SEMA) e pela Fundação Nacional de Saúde no Maranhão (FUNASA-MA).

### ***c. Dados referentes à evolução da expansão urbana e ao saneamento básico***

Os dados pertinentes a expansão urbana, intentou-se utilizar dados por bacia oceânica e por praia, contudo em função, mais uma vez, da incompletude das informações, optou-se por considerar a densidade populacional estimada por análise de setores censitários e população urbana da zona urbana da Ilha do Maranhão (Brasil), obtidos junto ao IBGE e por estimativas. Foi adotado o mesmo procedimento para os dados de saneamento básico.

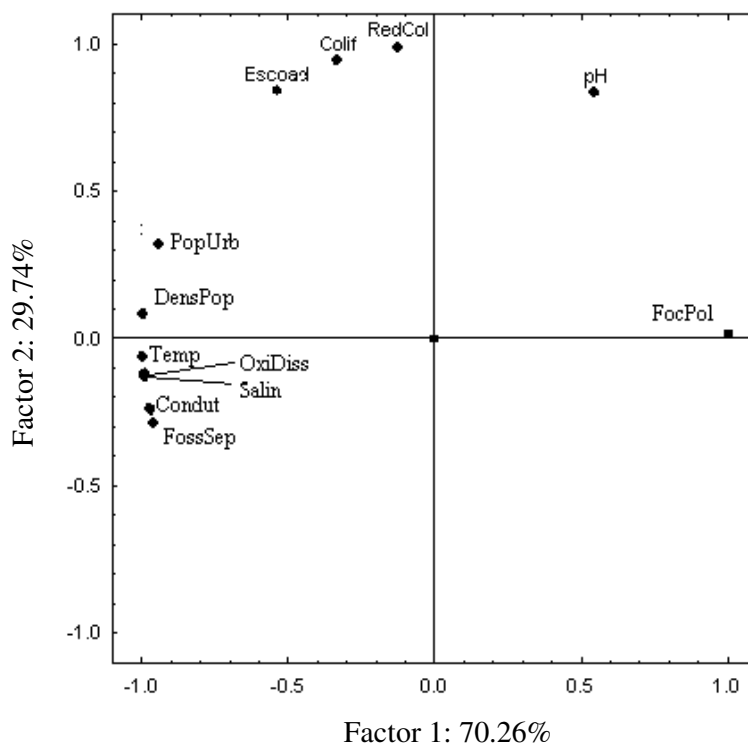
Um fato importante a ser considerado a esta altura da pesquisa, é que a Ilha do Maranhão não tem tratamento de esgoto, sendo os rios os principais receptores da carga poluidora. Estes rios – desaguando muitos deles na Baía de São Marcos, onde estão inseridas as praias em estudo – compõem bacias oceânicas, quais sejam as do Rio Bacanga, Rio Anil, Rio Calhau, Rio Pimenta e Rio Prata, com grandes bacias de drenagem, alcançando áreas bastante afastadas das praias e extrapolando os próprios limites da orla marítima na faixa terrestre. Estes fatos consubstanciam ainda mais o uso das características de toda zona urbana da Ilha do Maranhão (Brasil) no estudo.

#### **4.1.2 Escolha das variáveis**

A escolha das variáveis foi realizada de acordo com o resultado da Análise de Componentes Principais em função da maior correlação entre as mesmas (**Figura 4.1**), tomando como variável mais importante e dependente ‘coliformes totais’. Não à toa esta

variável tem peso maior na qualificação da praia como contaminada por esgotos domésticos, e na depreciação da qualidade da água como um todo. Foi considerada satisfatória uma correlação de 50% ( $R^2 \geq 0.50$ ).

Após a escolha retomou-se à análise das séries temporais para as variáveis escolhidas e os demais procedimentos propostos na metodologia.



**FIGURA 4.1 – Análise de componentes principais baseada na correlação para identificação das variáveis de estudo (ONDE: Colif: coliformes totais; PopUrb: População urbana; DensPop: densidade demográfica urbana; RedCol: número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos; Escoad: número de domicílios com estrutura inadequada de esgotamento sanitário; pH: potencial hidrogeniônico da água; FocPol: número de focos de poluição *in natura*; Temp: Temperatura; OxiDiss: oxigênio dissolvido na água; Salin: salinidade; Condu: condutividade; FossSep: número de domicílios com fossa séptica).**

Assim, nesta pesquisa foram selecionadas as variáveis:

- (a) Coliformes totais
- (b) pH
- (c) População Urbana
- (d) Densidade Urbana
- (e) Número de domicílios urbanos atendidos pela rede coletora de esgotos
- (f) Número de domicílios urbanos com estruturas inadequadas de esgotamento sanitário.
- (g) Focos de poluição *in natura*.

A opção por estas variáveis se mostra coerente com o apresentado na literatura, no que se refere a gestão de recursos hídricos: (1) os coliformes totais são indicativos de poluição por esgoto doméstico e influenciam diretamente no pH da água; (2) os esgotos domésticos em localidades onde não há tratamento de esgoto, como a Ilha do Maranhão (Brasil), entram nos cursos d' água via rede coletora e outras fontes inadequadas de saneamento básico (escoadouro), bem como focos de poluição *in natura*; (3) o aumento da população urbana e da densidade urbana influenciam diretamente na depreciação da qualidade dos recursos hídricos, principalmente onde não há estruturas adequadas de saneamento básico. Ressalta-se que apesar de não haver correlação forte com os coliformes totais, como demonstrado no PCA, a literatura refere participação importante de focos de poluição *in natura* na depreciação da qualidade da água das praias (CORDOVA, 2001; BOOLMANN, 2003; CETESB, 2004; 2006; DA SILVA, 2006; OLIVEIRA, 2007; BARROS, 2007; GROppo, 2009). Os demais parâmetros físico-químicos apresentaram grande correlação entre si, porém mostraram correlação fraca com os coliformes totais, o mesmo acontecendo com o número de domicílios com fossa séptica.

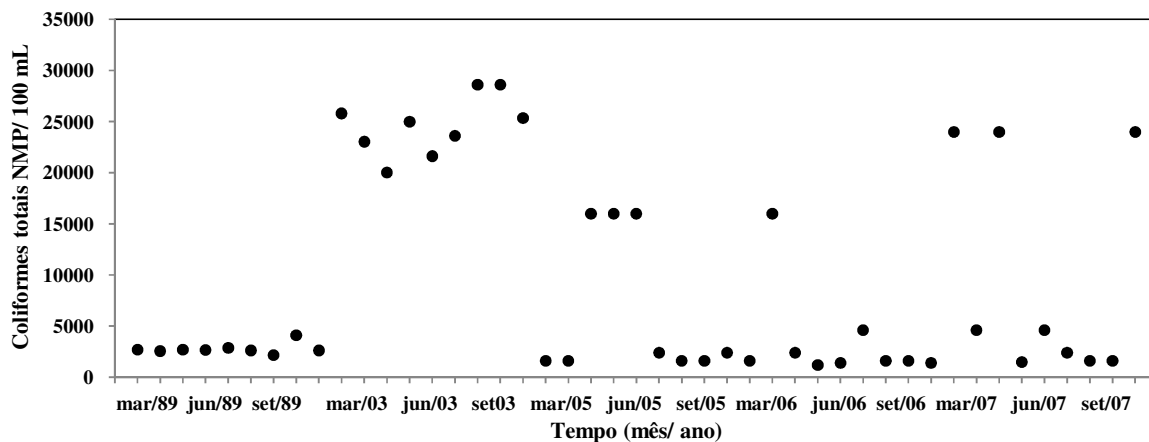
## 4.2 CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS

A partir das séries de dados obtidas foram elaborados os gráficos constantes nas **Figuras 4.2 a 4.27** a seguir. Estes gráficos foram analisados quanto à tendência e a sazonalidade para por fim ilustrarem o comportamento ao longo do tempo dos níveis de coliformes totais na água das praias em estudo da orla marítima urbana da Ilha do Maranhão (Brasil).

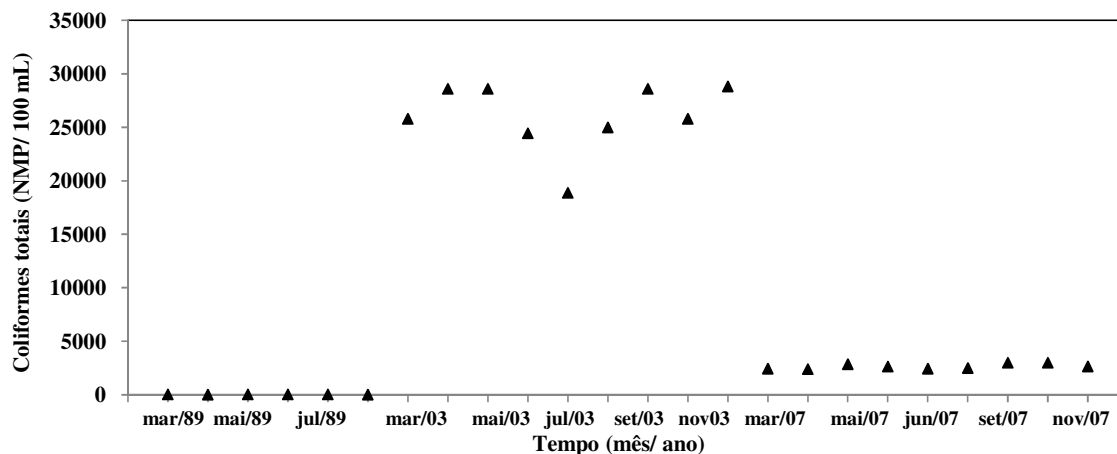
Com a análise das séries temporais, foram extraídos fatores capazes de explicar os comportamentos diagnosticados em cada praia. Estes fatores ficaram responsáveis por interpor as mesmas condições encontradas nas análises de dados observados aos modelos numéricos preditivos, conferindo-os maior proximidade com a realidade.

### 4.2.1 Preparação dos dados

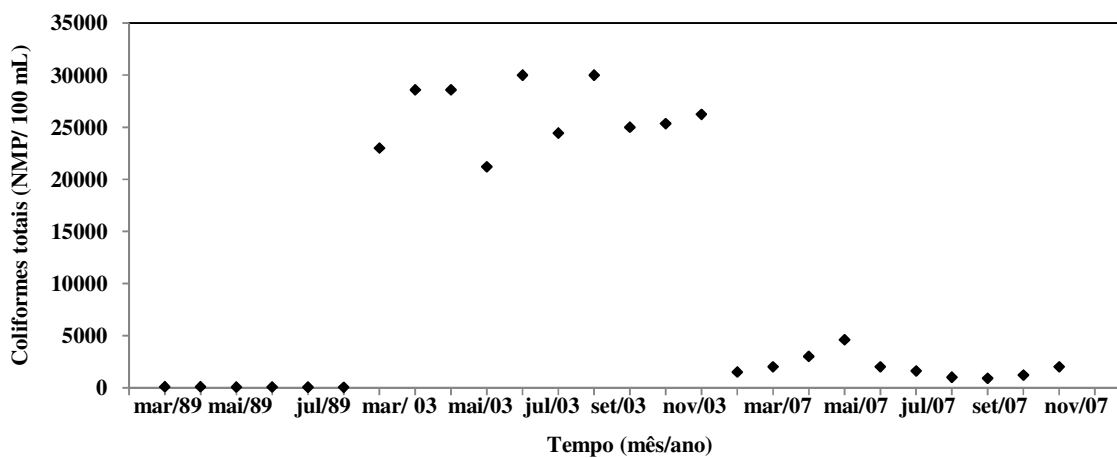
As **Figuras 4.2 a 4.6** trazem gráficos de dispersão mostrando a variação nos dados brutos de coliformes totais dos anos de 1989 a 2007. Vale salientar que em função da não-continuidade dos dados optou-se por não ligar os pontos plotados por segmentos de retas. Todos os dados foram obtidos junto a FUNASA/ AMA e SEMA.



**FIGURA 4.2 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (P1 = 02° 30’ 15’’ S; 44° 19’06.9’’W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.3 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.4 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28' 56.60'' S; 44° 15'5.97''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

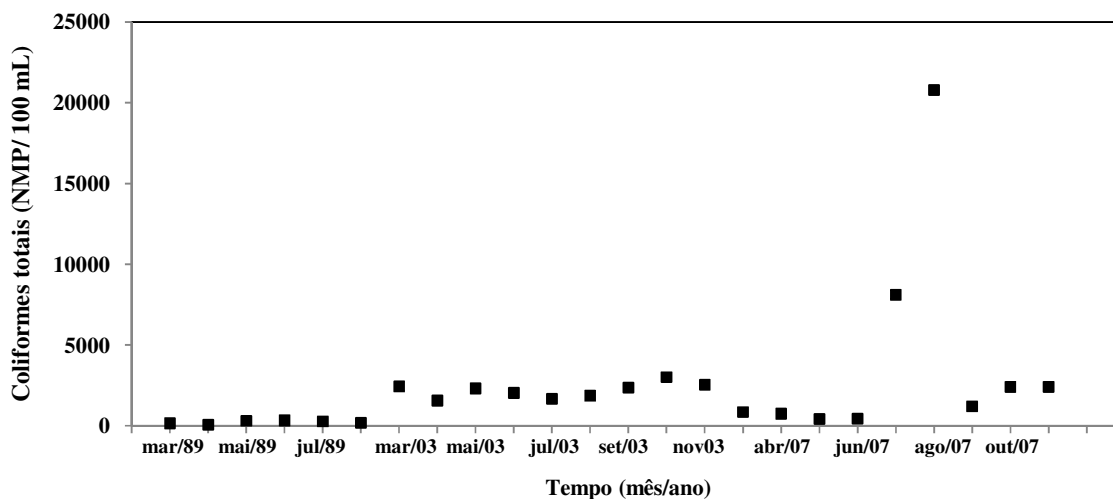


FIGURA 4.5 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100mL), em trecho da Praia do Olho d' Água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.

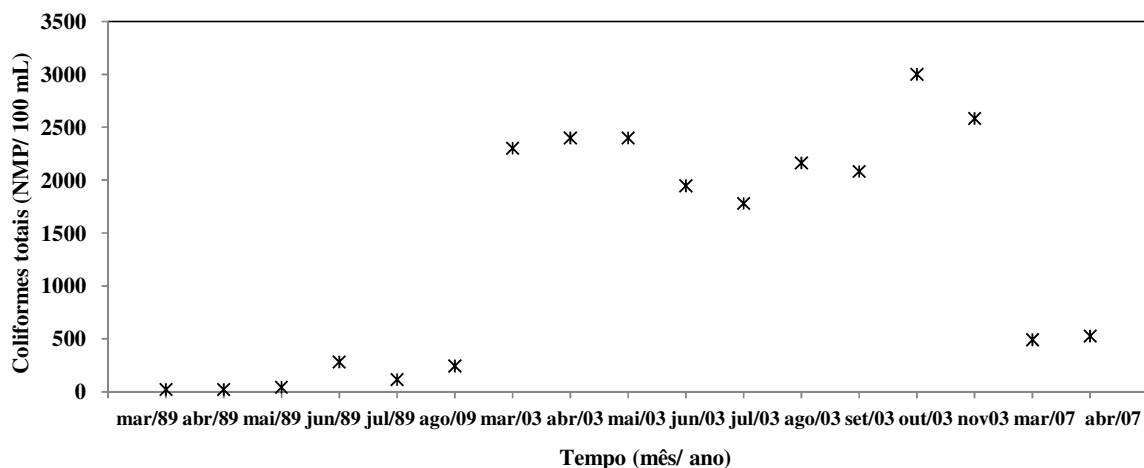


FIGURA 4.6 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.

A priori, considerando-se todos de dados de coliformes totais na água das praias estudadas, identificou-se por meio do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (W) e de medidas de assimetria e curtose presentes na **Tabela 4.1**, que os dados estudados apresentaram distribuição próxima da normal, o que já era previsto, pois se tem número reduzido de amostras em função de só ser possível um dado a partir da análise de cinco dados,



em outras palavras, só se tem uma quantificação do nível de coliformes (ou um laudo) após a análise de cinco quantificações dos níveis referentes às semanas de análise, de acordo com as recomendações legais. Ter-se representatividade em estudos como este, implica ter maior número de pontos amostrais, bem como maior período de análise, o que reverbera no custo-benefício tanto para fins acadêmicos como para fins de monitoramento, já que análises microbiológicas no geral são bastante onerosas.

**TABELA 4.1 – Testes de normalidade e análise descritiva aplicados às séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trechos das praias em estudo, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

Testes	Ponta da Areia	São Marcos	Calhau	Olho d'Água	Araçagy
W	0.7237	0.7224	0.7316	0.4938	0.8402
p-valor (W)	0.0078	0.0082	0.0075	0.0056	0.0099
Assimetria (G1)	0.7937	0.5967	0.5596	3.8701	0.0049
Curtose (G2)	-1.1841	-1.6749	-1.6891	16.3838	-1.8981
Variância	10079e+04	15095e+04	15428e+04	18104e+03	12265e+02
Média	9465.0222	10776.9583	10744.6538	2432.9167	1316.9412
Relação variância/média	10648.6807	4727.6791	14358.7688	7441.2741	931.3248
Desvio padrão	10039.3077	12286.0698	12420.7954	4254.9320	1107.4678
Erro padrão (Resíduo)	1496.5716	2507.8835	2435.9184	868.5344	268.6004

Diante de tal constatação a cerca da normalidade dos dados, optou-se por transformar as séries de dados não normalmente distribuídas em séries de dados normalmente distribuídas, por meio de transformações Box-Cox, como realizado por Groppo (2009) associadas à estatística não-paramétrica na análise, como feito por Moraes et al (1995). As transformações de dados fazem com que sejam distribuídos mais simetricamente havendo, portanto, duas vantagens: (1) alguns métodos não-paramétricos (e mesmo os paramétricos) assumem que os dados são distribuídos simetricamente; e (2) sendo distribuídos simetricamente se torna mais fácil a localização do centro da distribuição (GROPPA, 2009).

As transformações Box-Cox estimam a melhor transformação para se obter a normalidade dos dados (BIOESTAT 5.0). Assim, foi seguido o critério para a escolha da transformação mais adequada adotado por Groppo (2009): considerou-se que um valor de W do Teste de Wilk-Shapiro próximo de 1 apontava um bom ajuste, mesmo que as vezes a normalidade se apresente como não sendo significativa. Tal premissa se justifica na medida

em que W mede a qualidade do ajuste dos dados e a distribuição normal, variando de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1 melhor o ajuste.

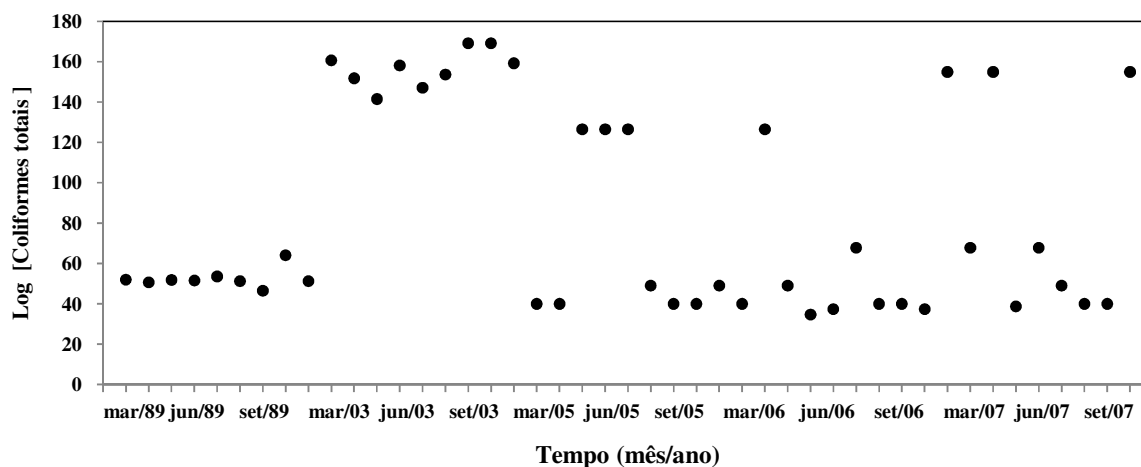
Após comparação entre os valores de W do Teste de Shapiro-Wilk, assimetria e curtose, a melhor transformação diagnosticada para os dados dos trechos da Praia da Ponta da Areia foi a transformação logarítmica como consta na **Tabela 4.2**.

**TABELA 4.2 – Testes de normalidade e análise descritiva aplicados às séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL) após transformação logarítmica (Log10), em trechos das praias em estudo, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

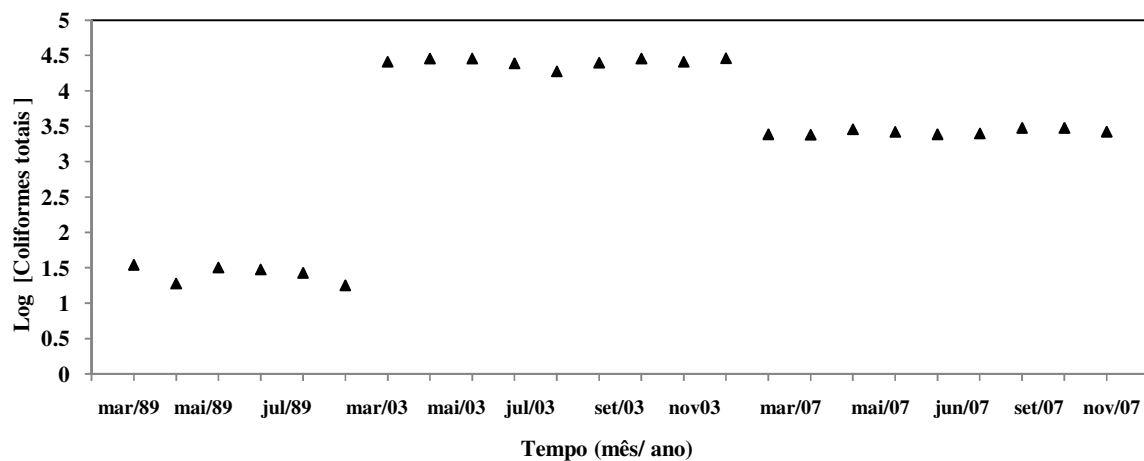
Testes	Ponta da Areia	São Marcos	Calhau	Olho d'Água	Araçagy
<b>W</b>	0.7996	0.7939	0.8561	0.9584	0.8202
<b>p-valor (W)</b>	0.0086	0.0090	0.0087	0.4439	0.0096
<b>Assimetria (G1)</b>	0.4514	-0.7643	-0.4880	-0.1536	-0.8993
<b>Curtose (G2)</b>	-1.5897	-0.9094	-1.1025	0.1621	-0.5802
<b>Variância</b>	0.2558	1.4219	1.0760	0.3417	0.5949
<b>Média</b>	3.6953	3.2923	3.3532	3.0294	2.7490
<b>Relação variância/média</b>	0,0711	0.3851	0.3208	0.1128	0.2164
<b>Desvio padrão</b>	0.5058	1.1924	1.0373	0.5846	0.7713
<b>Erro padrão (Resíduo)</b>	0.0754	0.2434	0.2034	0.1193	0.1871

Como mostrado nas **Tabelas 4.1 e 4.2**, a transformação também implicou na redução do desvio das observações em relação à média, repercutindo diretamente nas medidas de assimetria e curtose. Além disso, o resíduo (erro padrão) e a variância das séries de dados foram reduzidos. A redução da relação entre variância e a média após as transformações só vem a confirmar a escolha adequada da transformação.

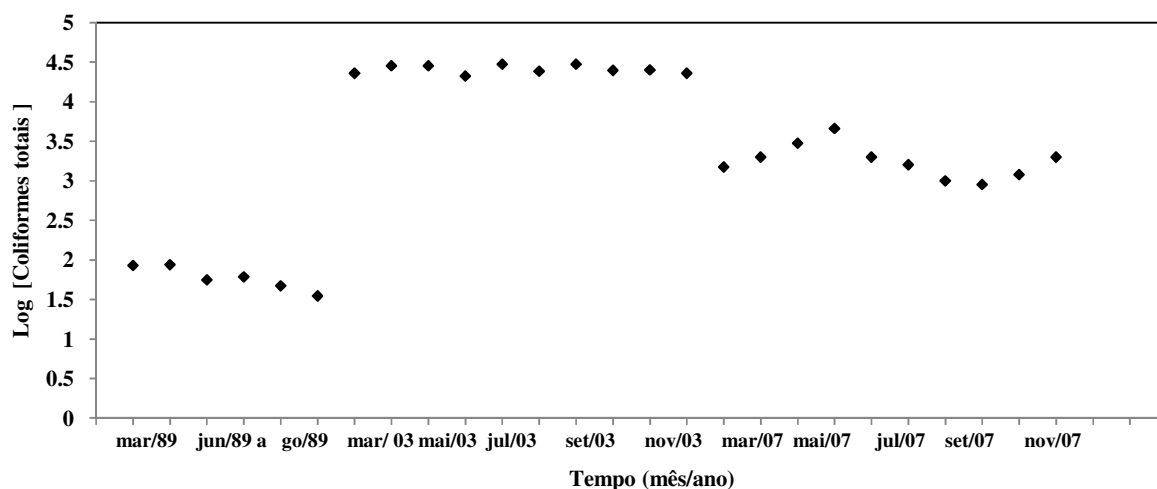
As séries de dados dos trechos das praias estudadas após a transformação são mostradas nas **Figuras 4.7 a 4.11**. Nestas pode se perceber que há suavização da variabilidade dos dados, isto é importante para diminuição do mascaramento dos dados e melhor visualização da existência ou não de padrões comportamentais, segundo pesquisas de Brockwell & Davis (1996), Ballini (2000), Chatfield (2004) e Morettin & Tolo (2006).



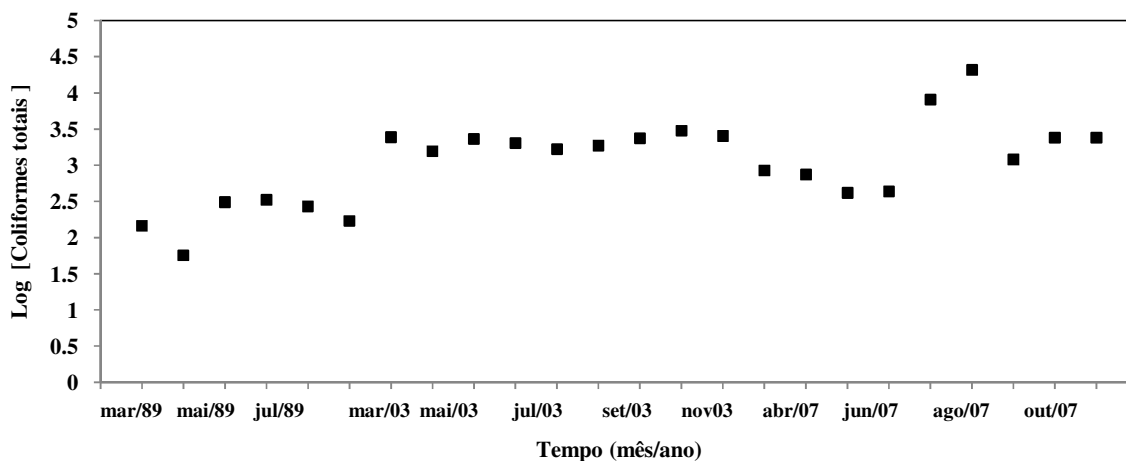
**FIGURA 4.7 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (P1 = 02° 30' 15" S; 44° 19'06.9"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



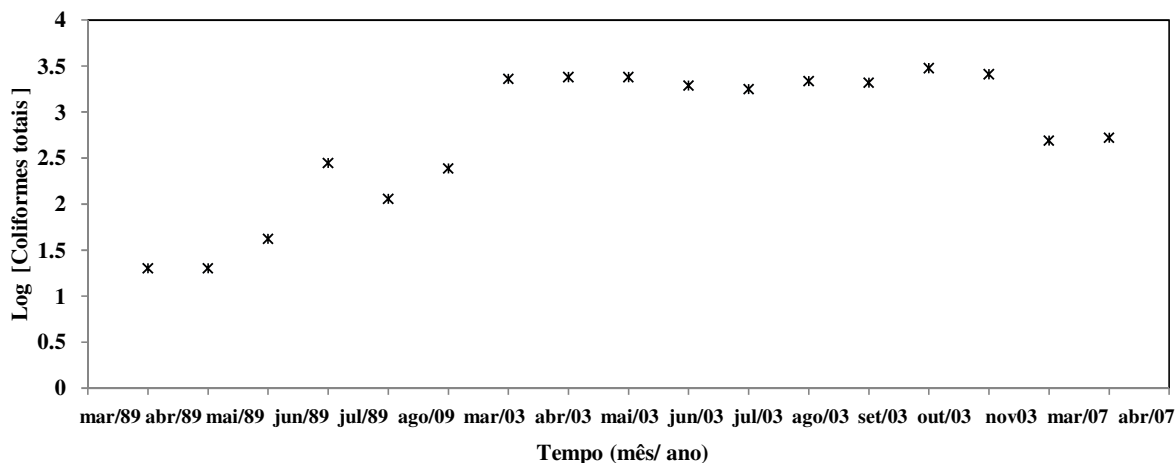
**FIGURA 4.8 - Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.9 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60" S; 44° 15'5.97"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.10 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Olho d'água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.11 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

Para a identificação de *outliers*, bem como de padrões comportamentais (sazonalidade), como referido na metodologia da pesquisa, foram utilizadas etapas do Controle Estatístico de Processo (CEP), similar ao adotado por Forester (2000), considerando as observações abaixo ou acima de três desvios-padrões (S) da média (M) ( $M \pm 3S$ ), sendo respectivamente o limite inferior e superior dos dados.

Nas **Figuras 4.12 a 4.16**, que trazem a fixação dos limites superior (LS) e inferior (LI) da análise, é possível perceber que não existiram valores discrepantes (*outliers*), fato que indica que a escolha da transformação logarítmica foi coerente. A identificação de comportamentos por meio das etapas do CEP é feita visualmente de acordo com o pesquisador, como ressalta Dal Cortivo (2005). Este tipo constatação tem caráter altamente subjetivo, portanto, na tentativa de conferir maior fidedignidade a análise, optou-se pela associação das etapas do CEP que foram importantes para identificação de *outliers*, com testes estatísticos propostos por Groppo (2001; 2005), como mostrado no item **4.2.3**.

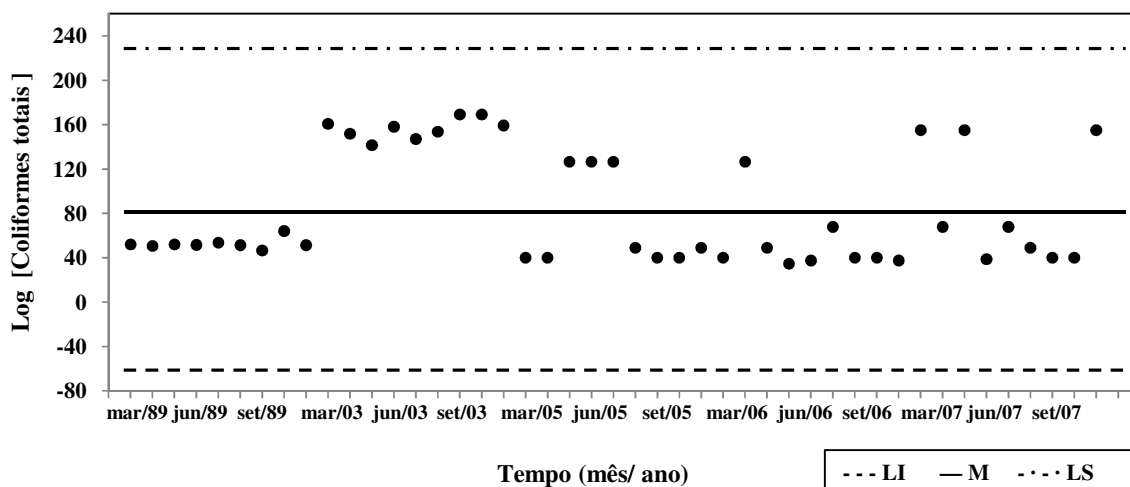


FIGURA 4.12 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia ( $P1 = 02^{\circ} 30' 15''S$ ;  $44^{\circ} 19'06.9''W$ ), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007. (Onde: LS = Limite Superior, LI = Limite Inferior e M = Média).

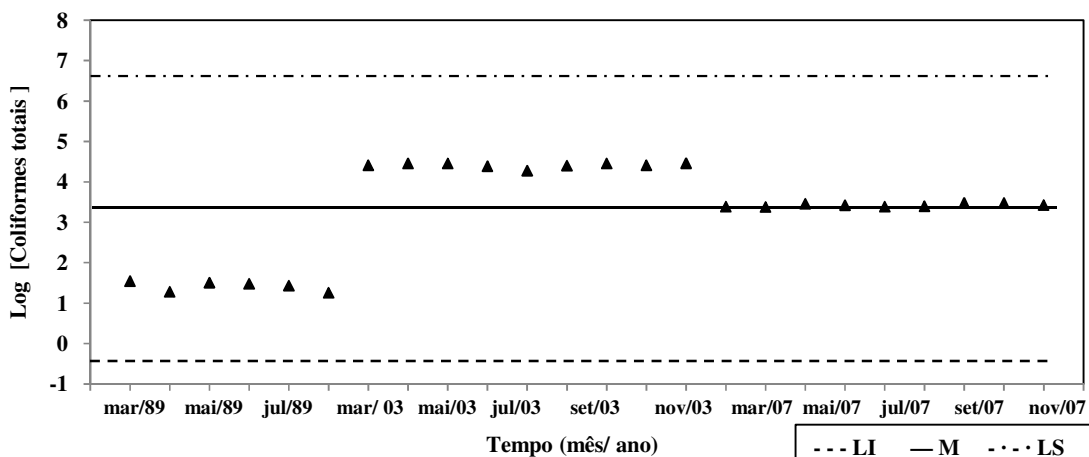
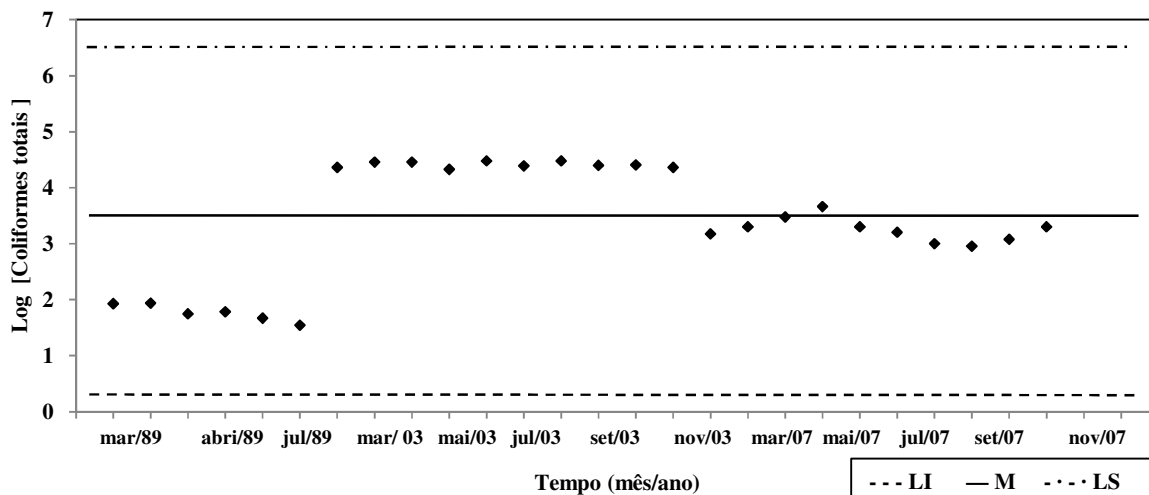
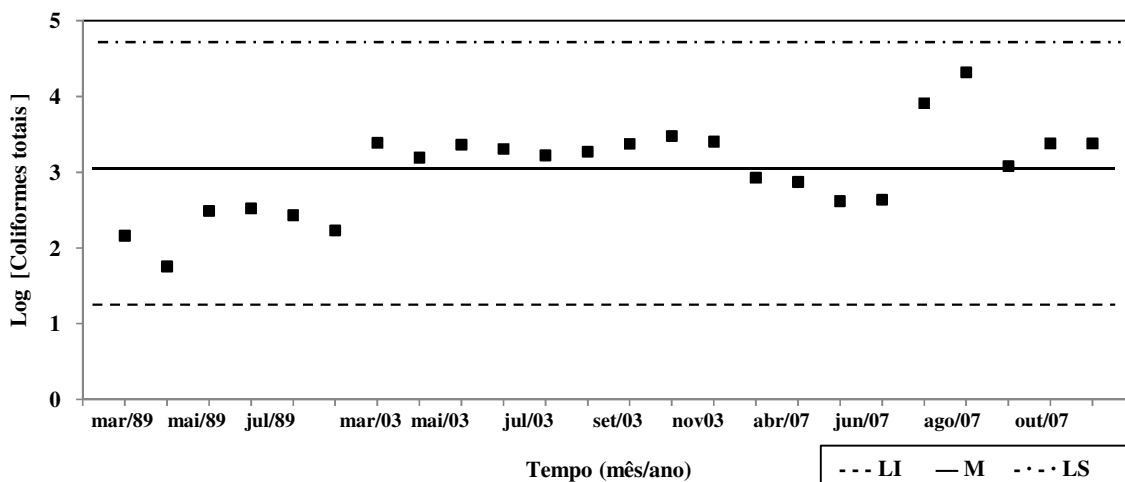


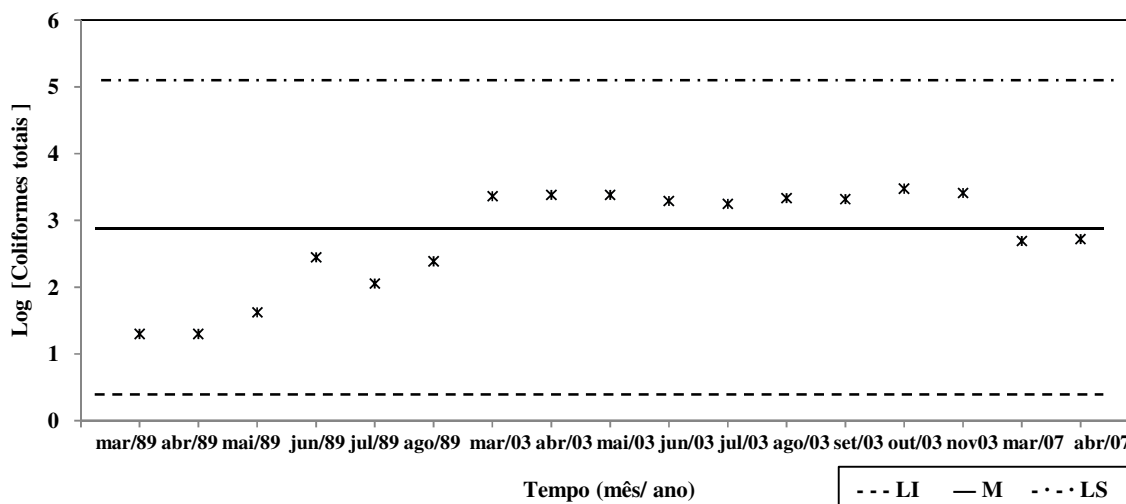
FIGURA 4.13 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos ( $2^{\circ}29'15.40''S$ ;  $44^{\circ}16'25.11''W$ ), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007. (Onde: LS = Limite Superior, LI = Limite Inferior e M = Média).



**FIGURA 4.14** – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60" S; 44° 15'5.97"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007. (Onde: LS = Limite Superior, LI = Limite Inferior e M = Média).



**FIGURA 4.15** – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Olho d' água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007. (Onde: LS = Limite Superior, LI = Limite Inferior e M = Média).



**FIGURA 4.16 – Série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), após transformação logarítmica, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007. (Onde: LS = Limite Superior, LI = Limite Inferior e M = Média).**

#### 4.2.2 Análise de tendências

A aplicação de um teste de tendência (A) para nível de decisão  $\alpha = 0.05$ , baseado nas associações entre os dados, caracterizou as tendências em todas as séries de dados dos níveis de coliformes totais (NMP/ 100 mL) como crescentes ( $A_0 > 0$ ), com exceção da praia do Araçagy. A tendência crescente é menos significativa no trecho da praia da Ponta da Areia ( $p = 0.01$ ), porém no trecho da praia de São Marcos foi caracterizada como estatisticamente muito significante ( $p < 0.0001$ ).

Na análise das tendências, foi escolhido o modelo de regressão (linear, exponencial, de potência, logaritmo, polinomial) que melhor se ajustou aos dados, em função do maior coeficiente de explicação ( $R^2$ ). As tendências dos trechos das praias estudadas foram mais bem representadas por modelos polinomiais de alta ordem, como consta na **Tabela 4.3**.

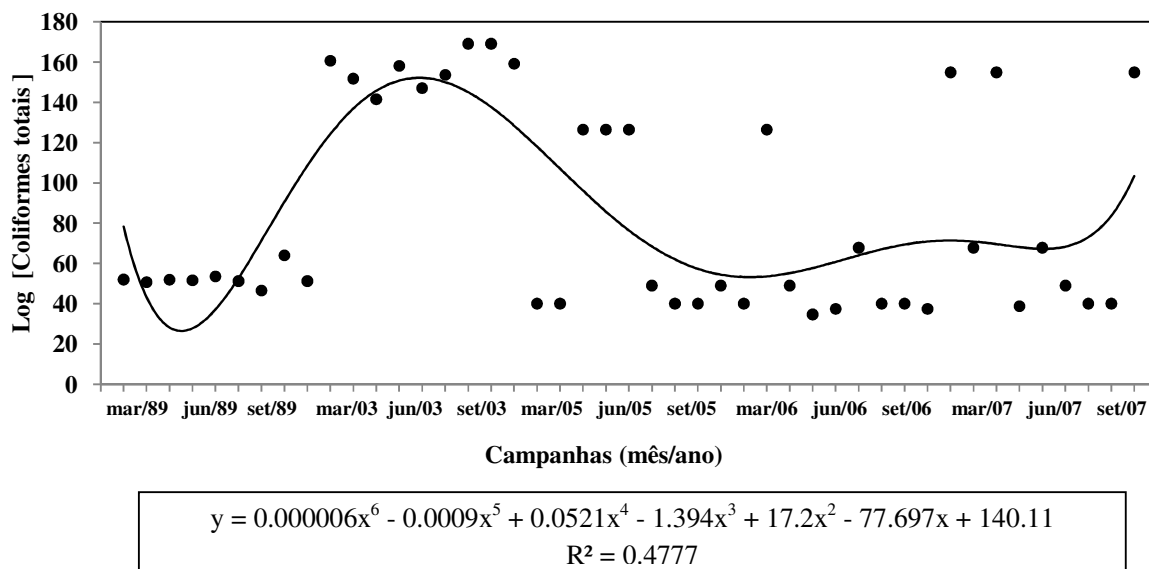
Os modelos polinomiais que explicam as tendências nas séries de dados dos trechos das praias estudadas encontram-se nas **Figuras 4.17 a 4.21**. Estes modelos geram resultados tendenciados de acordo com os níveis de coliformes totais na água das praias (y) em função do tempo ( $x = 1, 2, 3, \dots, n$ ). A identificação de tendências em séries de dados pode se manifestar como forma de conhecer, prever e concluir informações úteis ao diagnóstico e remediação, como denotam as pesquisas de Groppo (2005), Maletzke (2009) e Ribeiro (2009). A caracterização das tendências é mais bem explicada quando considerada a



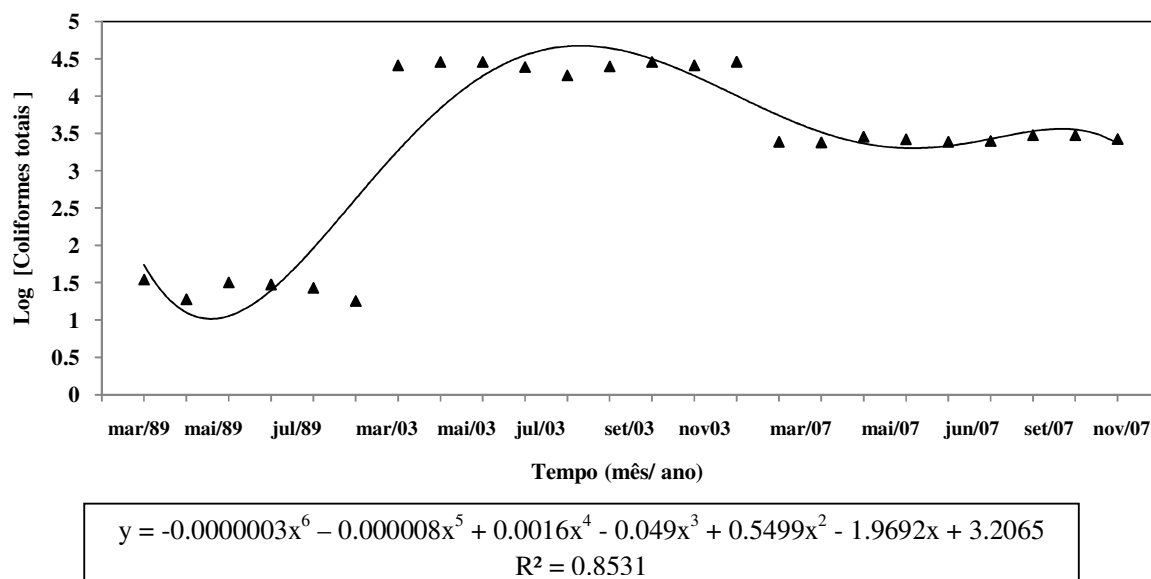
modelagem as relações da expansão urbana e saneamento básico sobre os níveis de coliformes totais na água em cada praia estudada.

**TABELA 4.3 – Coeficientes de explicação ( $R^2$ ) para modelos aplicados às séries de dados de níveis de coliformes totais (NMP/ 100 mL) em trechos das praias em estudo, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

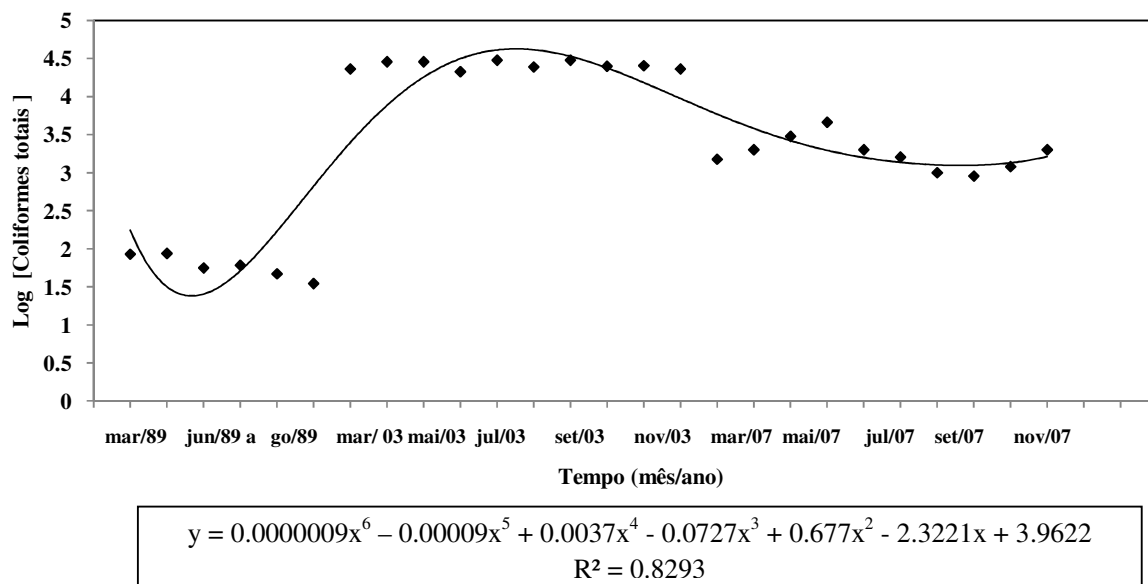
Praias Modelos	Ponta da Areia	São Marcos	Calhau	Olho d' Água	Araçagy
Linear	$R^2 = 0.0167$	$R^2 = 0.2404$	$R^2 = 0.0951$	$R^2 = 0.3871$	$R^2 = 0.5111$
Logarítmico	$R^2 = 0.0006$	$R^2 = 0.4286$	$R^2 = 0.2638$	$R^2 = 0.4996$	$R^2 = 0.7162$
Exponencial	$R^2 = 0.0251$	$R^2 = 0.3435$	$R^2 = 0.1741$	$R^2 = 0.4009$	$R^2 = 0.5349$
Polinomial	$R^2 = 0.4777$ (ordem 6)	$R^2 = 0.8531$ (ordem 6)	$R^2 = 0.8293$ (ordem 6)	$R^2 = 0.6443$ (ordem 6)	$R^2 = 0.9157$ (ordem 6)
De potência	$R^2 = 0.0002$	$R^2 = 0.5203$	$R^2 = 0.3513$	$R^2 = 0.5344$	$R^2 = 0.7694$



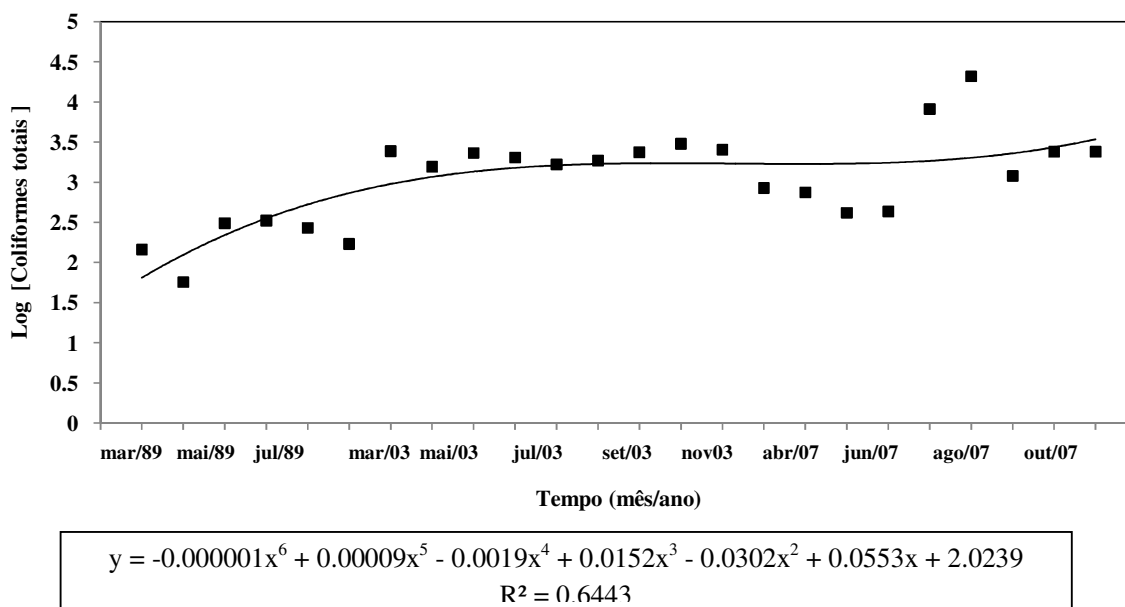
**FIGURA 4.17 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (02° 30' 15" S; 44° 19'06.9"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



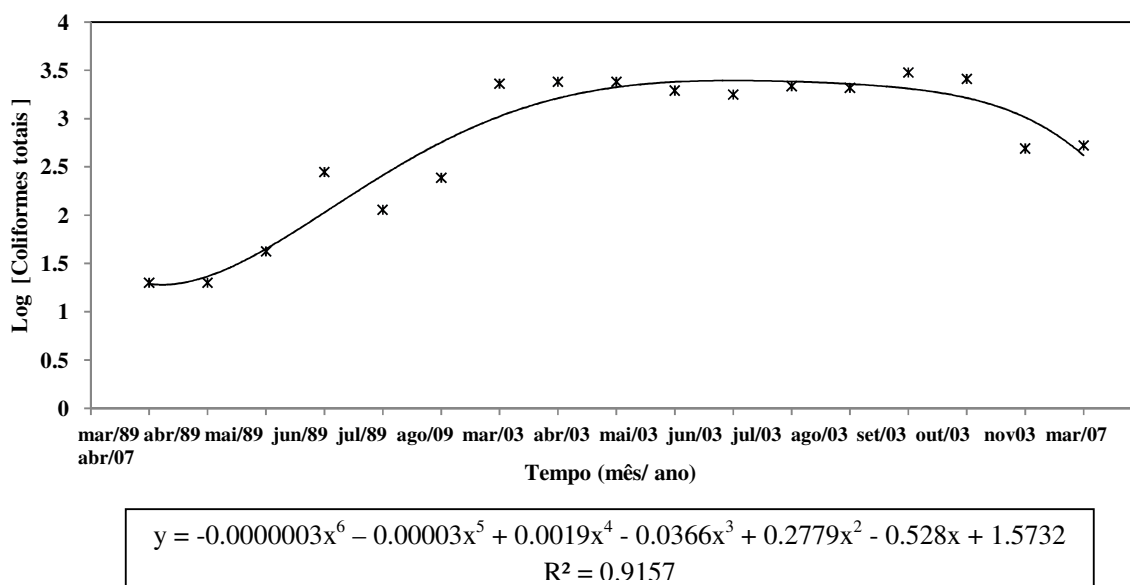
**FIGURA 4.18 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia de São Marcos (2°29'15. 40''S; 44°16'25.11''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.19 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau (02° 28'56.60'' S; 44° 15'5.97''W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.20 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Olho d' água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**



**FIGURA 4.21 – Análise de tendência para a série de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

### 4.2.3 Análise de sazonalidade

Quanto à sazonalidade no comportamento dos dados, o CEP permite identificação visual de padrões como mostraram as **Figuras 4.17 a 4.21**, porém muito subjetiva. Foi considerada prudente uma confirmação estatística por meio do teste não-paramétrico Kruskal-Wallis (H) para verificação da significância da sazonalidade, com nível de decisão  $\alpha = 0.05$ , como proposto por Groppo (2005).

Com base neste teste, foi verificado que existe sazonalidade, e que ela é altamente significativa em todas as séries de dados de coliformes totais para as praias em estudo, como mostra a **Tabela 4.4**.

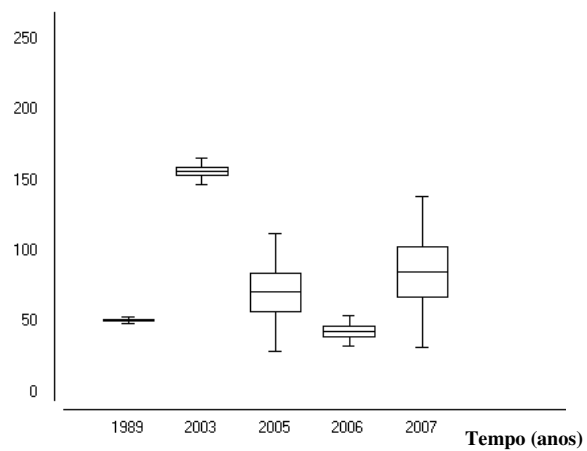
**TABELA 4.4 – Verificação da significância da sazonalidade nas séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trechos de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

Teste Kruskal-Wallis	Ponta da Areia	São Marcos	Calhau	Olho d' Água	Araçagi
<b>H</b>	22.2409	20.3030	21.9328	13.4559	12.9730
<b>p-valor (H)</b>	0.0002	< 0.0001	< 0.0001	0.0012	0.0015

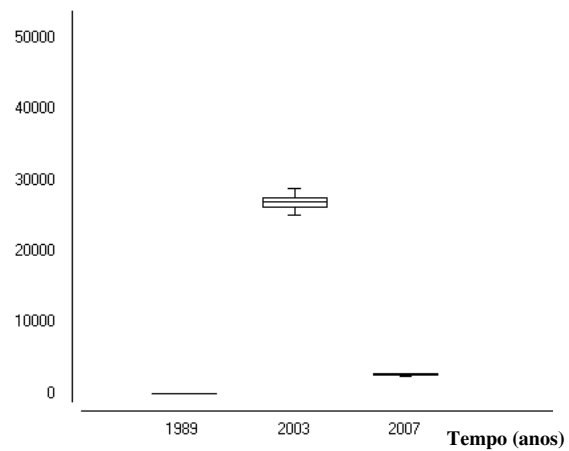
A verificação da amplitude da sazonalidade foi consubstanciada pela construção de gráficos do tipo “Box-Plot”, presentes na **Figura 4.22**, que mostra a variabilidade dos níveis de coliformes totais (NMP/ 100 mL) ao longo do tempo.

Analisando a **Figura 4.22**, percebe-se que as flutuações sazonais são instáveis variando de um ano para outro, impondo uma sazonalidade de amplitude variável. Segundo Cavalheiro (2003), este tipo de sazonalidade interpõe e indica grande diferenciação de comportamentos entre os períodos de análise, implicando na chamada sazonalidade multiplicativa, isto é, imposta por fatores sazonais multiplicativos. Estes fatores sazonais são importantíssimos nesta pesquisa, pois podem conferir aos modelos numéricos pretendidos características próprias do comportamento de cada praia em função do tempo, aferindo maior rigorosidade à predição a ser feita pelos modelos.

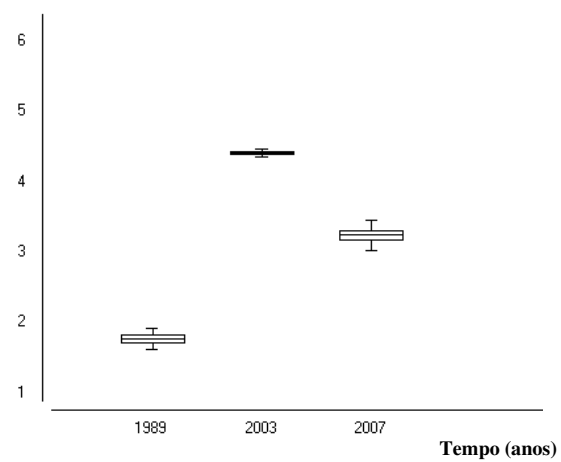
(A)



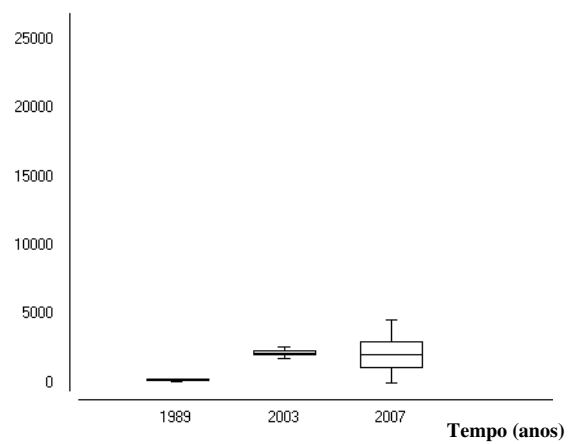
(B)



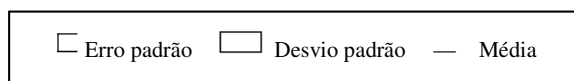
(C)



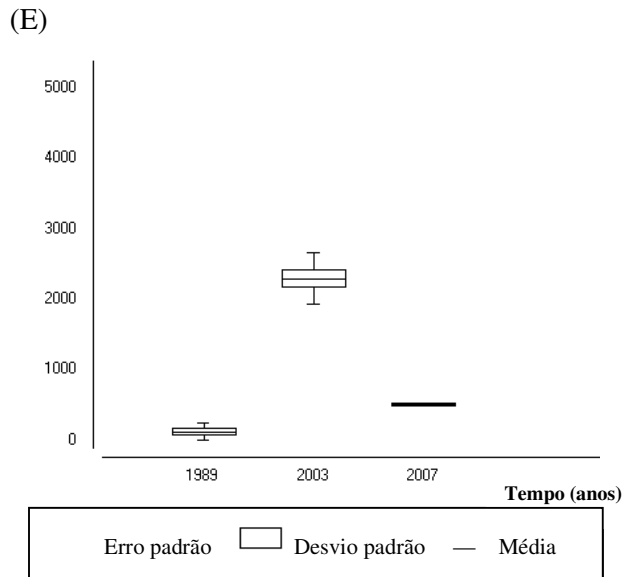
(D)



(Continua..)



(Continuação)



**FIGURA 4.22 – Variabilidade anual dos níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho das praias da (A) Ponta da Areia, (B) São Marcos, (C) Calhau, (D) Olho d' Água e (E) Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

#### 4.2.4 Obtenção das séries temporais e dos fatores sazonais

A obtenção da série temporal foi feita em função das tendências e sazonalidades identificadas nos itens anteriores, segundo a **Equação 1**.

$$Z_t = T_t + S_t + E_t \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde,  $Z_t$  = série temporal para período de tempo  $t$ ,  $T_t$  = tendência estimada para período de tempo  $t$ ,  $S_t$  = sazonalidade estimada para período de tempo  $t$ ,  $E_t$  = resíduo ou erro estimado para período de tempo  $t$ .

Para tanto, inicialmente foi extraída a série sem tendências pela **Equação 2**, com base nas tendências estimadas ( $T_t$ ) correspondentes aos modelos expostos nas **Figuras 4.16 a 4.20** para cada praia, considerando um período de tempo  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ . Estas tendências foram subtraídas das séries de dados observados, obtendo-se a série temporal destendenciada. Os dados da série sem tendências indicam a sazonalidade e o erro (componente aleatório, resíduo).

$$Y_t = Z_t - T_t$$

(Equação 2)

Onde,  $Y_t$  = série temporal sem tendência para período de tempo  $t$ , indicando sazonalidade mais o resíduo ( $S_t + E_t$ ),  $Z$  = série de dados original para período de tempo  $t$ ,  $T_t$  = tendência estimada para período de tempo  $t$ .

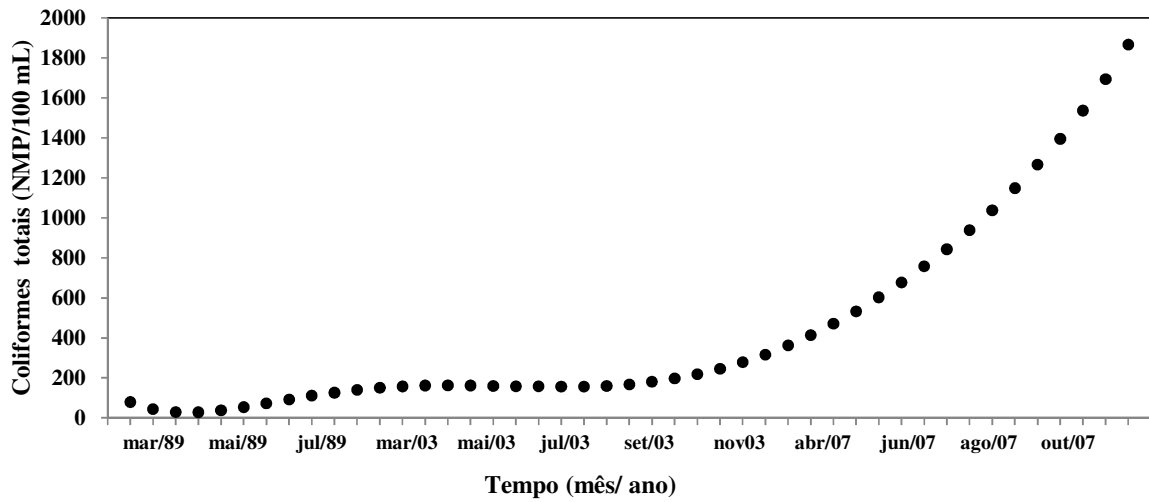
Como a amplitude de sazonalidade foi identificada como variável, como mostra a **Figura 4.22**, isto implica em uma sazonalidade multiplicativa, isto é, influenciada por fatores sazonais multiplicativos. Estes fatores sazonais foram estimados da seguinte forma, segundo metodologia proposta por Cavalheiro (2003) e Tolo & Morettin (2006): (a) a média das sazonalidades por período, calculadas pela **Equação 4.2**, foram multiplicadas por 2, pois considera-se a sazonalidade simétrica; (b) em seguida, estes resultados versus os períodos ( $t = 1, 2, 3, \dots, n$ ) foram plotados em gráficos de dispersão; (c) por meio de análise de regressão, foram obtidas equações capazes de estimar os fatores sazonais por período.

O **Quadro 4.1** traz as equações obtidas por análise de regressão para obtenção dos fatores sazonais para um período de tempo,  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ , para cada praia em estudo. Estas equações foram úteis e importantíssimas na construção dos modelos numéricos pretendidos pela pesquisa, pois estes os fatores sazonais são responsáveis pelas variações nas séries de dados de coliformes totais nas águas das praias em estudo. Incorporando-os aos modelos preditivos pode se aproximar o comportamento previsto do comportamento real, conferindo maior exatidão.

**QUADRO 4.1 – Equações para cálculo dos fatores sazonais das séries de dados de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trechos de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.**

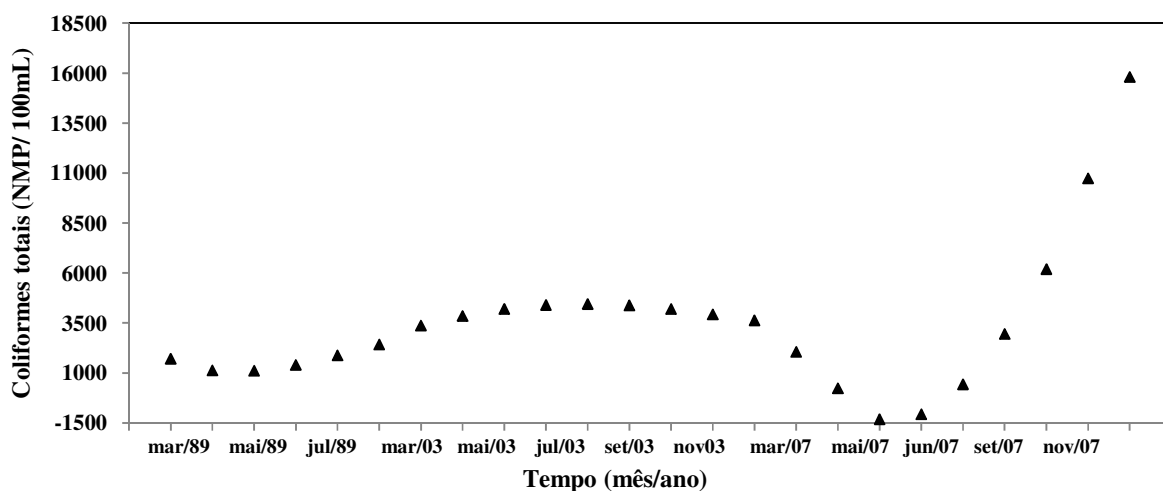
Praias	Fatores sazonais
Ponta da Areia	$y = -246.33x^2 + 911.83x - 717.83$
São Marcos	$y = -1.1318x^2 + 4.6724x - 3.99$
Calhau	$y = 1341.7x^2 - 3741.1x + 2404.6$
Olho d' Água	$y = -34.349x^2 + 100.48x - 66.258$
Araçagy	$y = -0.2171x^2 + 1.463x - 1.3523$

As sazonalidades mais resíduo, calculadas pela **Equação 4.2**, foram então divididas pelos fatores sazonais do respectivo período, obtendo-se a sazonalidade propriamente dita. Pela **Equação 4.1**, foram extraídas as séries temporais para os níveis de coliformes totais na água em NMP/ 100 mL, em trechos das praias em estudo. Por fim, as séries temporais dos níveis de coliformes totais na água das praias estudadas estão dispostas nas **Figuras 4.23 a 4.27**.

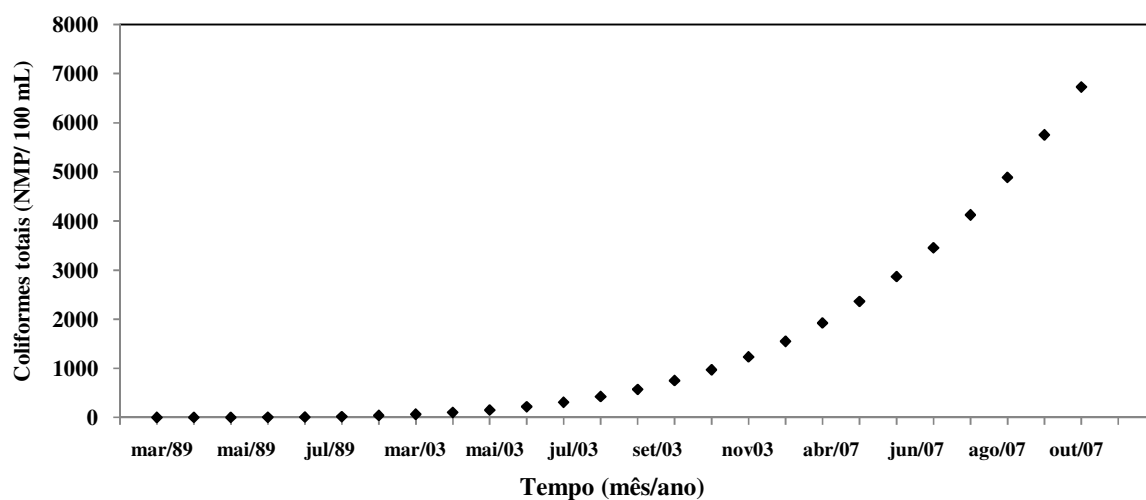


**FIGURA 4.23** – Série temporal para níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia da Ponta da Areia (02° 30' 15" S; 44° 19'06.9"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.

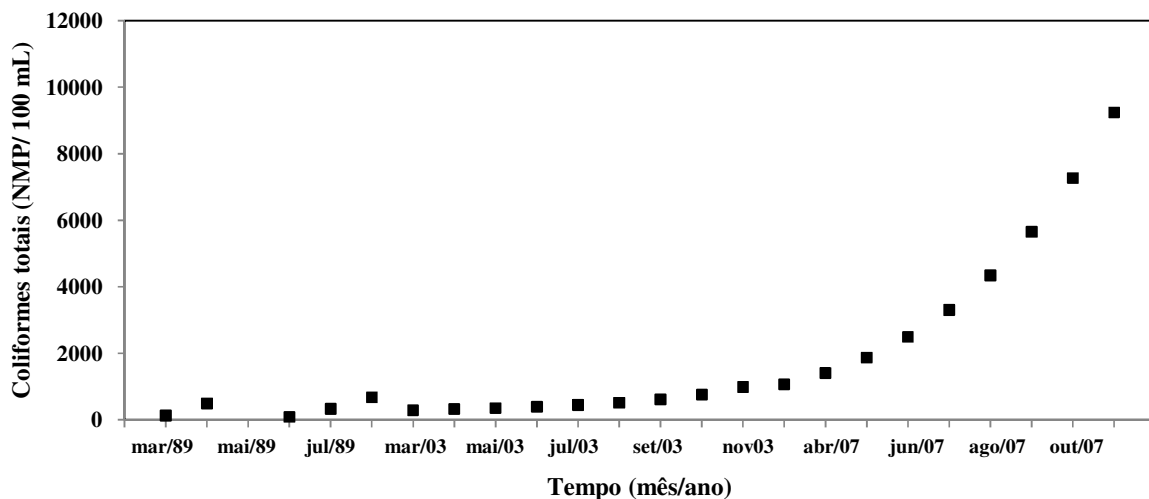




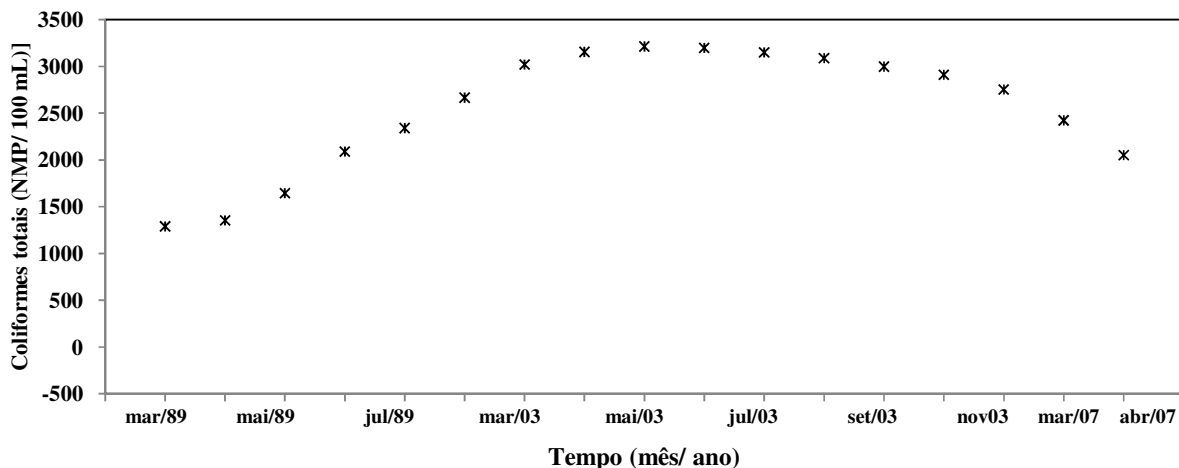
**FIGURA 4.24** – Série temporal pura para níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL em trecho da Praia de São Marcos ( $2^{\circ}29'15.40''S$ ;  $44^{\circ}16'25.11''W$ ), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.



**FIGURA 4.25** – Série temporal para níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL), em trecho da Praia do Calhau ( $02^{\circ}28'56.60''S$ ;  $44^{\circ}15'5.97''W$ ), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.



**FIGURA 4.26 -** Série temporal pura para níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL em trecho da Praia do Olho d' água (02°28' 43.3"S; 44°13'45.5"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.



**FIGURA 4.27 -** Série temporal pura para níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL em trecho da Praia do Araçagy (02°28' 06.3"S; 44°12'18.1"W), Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007.

Nestas **Figuras 4.23 a 4.27**, fica caracterizado o comportamento crescente da variável em função do tempo, livre da grande variabilidade dos dados brutos. Tal comportamento já fora referido no estudo das tendências, porém sua visualização foi facilitada pelos tratamentos realizados às séries de dados. Assim, nas praias de São Marcos,

Olho d' Água e Calhau foram evidenciados crescimento mais expressivo dos níveis de coliformes totais em função do tempo que nas demais praias (**Figuras 4.24, 4.25 e 4.26**). Na praia da Ponta da Areia, embora tenha havido aumento, este foi menor em comparação as outras (**Figura 4.23**). Em contrapartida, na praia do Araçagy (**Figura 4.27**) há inicialmente um comportamento ascendente com leve decréscimo no fim da série dos níveis de coliformes totais na água.

### 4.3 CONSTRUÇÃO E PROPOSIÇÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS

Após a análise das séries temporais dos níveis de coliformes totais (NMP/ 100 mL) para cada praia investigada, propõem-se modelos numéricos agregando possíveis pressões sobre esta variável, aqui tratada como indicadora de contaminação e da qualidade da água das praias e também como variável dependente dos modelos.

Como indicado anteriormente pela análise de componentes principais (**Figura 4.1**), as variáveis que mostraram maior correlação, tomando à variável ‘coliformes totais’ como dependente, foram:

- (a) Densidade populacional (“DensPop”): correspondente ao número estimado de habitantes por km<sup>2</sup>, obtido por meio da análise de setores censitários do IBGE;
- (b) População urbana (“PopUrb”): correspondente ao número estimado de habitantes da zona urbana, obtido por meio do Censo e PNAD (IBGE);
- (c) Número estimado de domicílios ligados a rede coletora de esgotos (“RedCol”), obtido por meio análise de setores censitários do IBGE;
- (d) Número estimado de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário (“Esc”), como escoadouro e valas, por meio da análise de setores censitários do IBGE;

Intentou-se também a inserção nos modelos das variáveis “pH” da água (“pH”) e “número de focos de poluição *in natura*” (“Foc”), verificados em campo e em pesquisas anteriores, baseado na literatura (CORDOVA, 2001; BOOLMANN, 2003; CETESB, 2004; 2006; DA SILVA, 2006; OLIVEIRA, 2007).

Os modelos foram construídos tomando por base os dados levantados e nas condições descritas na Etapa I da pesquisa e discutidos no item **4.1**, sendo considerados anualmente no intervalo de tempo de estudo compreendido entre 1989 e 2007. Portanto, os modelos numéricos são preditivos do comportamento anual dos níveis de coliformes totais por praia em estudo, sob as condições mais críticas, isto é, considerando um regime de maré vazante e para trechos das praias mais freqüentados por banhistas, com influência direta de focos de poluição *in natura*, segundo monitoramentos anteriores por órgãos públicos.

Os modelos numéricos deste estudo foram representados por equações que descrevem as correlações entre as variáveis propostas por cada praia estudada. A construção dos modelos numéricos foi realizada por Regressão Múltipla Stepwise (passo a passo) do tipo

progressiva, na qual cada variável vai sendo gradativamente adicionada ao modelo a critério do pesquisador, em função do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Vale salientar o grande esforço na tentativa de agregar a maior quantidade de variáveis possíveis aos modelos, considerando correlações e significâncias das mesmas, para se obter maior capacidade de predição

Na **Tabela 4.5** são apresentados os modelos lineares multivariados para cada praia com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de correlação ( $R$ ). Por se tratar de modelos lineares multivariados, a tendência é de que haja linearidade crescente ou decrescente nos níveis de coliformes totais. Contudo, esta característica pode se remediar, ou pelo menos, pode se tornar mais próxima da realidade, utilizando-se os fatores sazonais normalizados, calculados pelas equações contidas no **Quadro 4.1** do item **4.2.4.**, multiplicando-os ao respectivo modelo, para o período de tempo,  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ .

**TABELA 4.5 – Modelagem das relações entre coliformes totais (NMP/ 100 mL) e as pressões antrópicas, com os respectivos coeficientes de correlação (R) e determinação ( $R^2$ ), para praias da Ilha do Maranhão (Brasil).**

Praias	Modelos numéricos <sup>1</sup>	Coeficientes	
		(R)	( $R^2$ )
Ponta da Areia	$ColTot = [- 4830.906 + (0.128*RedCol) - (0.027*Esc) - (128*pH) - (0.004*PopUrb) - (128*Foc)] * FS$	93.22%	84.71%
São Marcos	$ColTot = [- 4960.61 + (0.16*RedCol) - (0.08*Esc) - (178*pH) - (161*Foc) + (0.56*DensPop)] * FS$	98%	95.39%
Calhau	$ColTot = [- 13249.568 + (0.134*RedCol) - (0.049*Esc) - (1.063*DensPop) + (0.004*PopUrb)] * FS$	97.70%	94.50%
Olho d'Água	$ColTot = [5230.4610 - (128*pH) - (0.0005*PopUrb) - (0.3125*DensPop) - (0.0078*RedCol) + (0.0137*Esc) - (72*Foc)] * FS$	40.55%	16.44%
Araçagy	$ColTot = [- 2979.03 - (23.43*pH) + (1.04*PopUrb) - (216.68*DensPop) + (11.17*RedCol) + (7.134*Esc) + (4.76*Foc)] * FS$	97.76%	94.49%

<sup>1</sup>Nota: RedCol = número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos; Esc = número de domicílios com estrutura inadequada de esgotamento sanitário; pH = potencial hidrogeniônico da água; PopUrb = população urbana; DensPop = densidade populacional; Foc = número de focos de poluição por praia; FS = fator sazonal normalizado para um período de tempo  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Entende-se que o sinal positivo do peso de uma variável no modelo se refere ao incremento positivo ou maior desta sobre o número de coliformes totais na água, considerando todas as correlações estabelecidas para cada modelo e situação. Já o sinal negativo, implica em uma influência negativa ou menor de uma variável se comparada às demais. O termo independente de variáveis imprime genericamente o comportamento esperado pelo uso das referidas variáveis,

No modelo proposto para a praia da Ponta da Areia, de todos os atributos do modelo, o que mais pode acrescentar sobre a quantidade de coliformes totais na água é o “número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol). Em contrapartida, tem baixa influência das variáveis “população urbana” (PopUrb) e “número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc), e as variáveis “pH da água” e “número de focos de poluição *in natura* na praia” (Foc) tem incrementos muito negativos.

As características do modelo para a praia da Ponta da Areia podem ser explicadas da seguinte forma: (1) o aumento do número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos pode acrescer a quantidade de bactérias na água em função da ausência de tratamento de esgoto; (2) o aumento da população urbana pode não estar influenciando tanto no aumento do número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos e no número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário, em razão do aumento dos domicílios com outras formas de esgotamento sanitário menos impactantes na qualidade de água superficiais, como a fossa séptica; (3) grande quantidade de bactérias na água causa diminuição dos valores de pH da água, então o modelo informa que quanto há aumento do pH existe menor quantidade de bactérias na água; (4) houve redução gradativa no número de focos de poluição *in natura*, portanto esta variável pode não ter tão grande influência no aumento da quantidade de bactérias na água desta praia quanto, como por exemplo, o aumento proporcionado pela variável “RedCol”.

Para a praia de São Marcos, o modelo proposto mostra que as variáveis que mais podem contribuir para o aumento da quantidade de coliformes totais na água são a “densidade populacional” (DensPop) e o “número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol), seguidas em menor escala pela da variável “número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc). As contribuições das variáveis “pH da água” e “número de focos de poluição *in natura* na praia” (Foc) influenciam muito negativamente na variável dependente, provavelmente pelas mesmas explicações atribuídas à praia da Ponta da Areia.

O modelo para a praia de São Marcos informa que o adensamento populacional local pode estar imprimindo aumento no número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos e em menor grau no número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário, sendo que ambos influenciam diretamente na quantidade de bactérias de corpos d' água ligados ou não ao mar devido à ausência de tratamento de esgoto. Vale ressaltar, que nas praias da Ponta da Areia e São Marcos foram encontradas as menores quantidades de pontos de lançamento de esgoto *in natura*, nesta ordem.

O modelo para praia do Calhau mostra que as variáveis que mais podem influir no aumento da quantidade de coliformes totais na água são o “número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol) e “população urbana” (PopUrb), seguidas em menor escala pela da variável “número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc) e “densidade populacional” (DensPop). As variáveis “pH da água” e “número de focos de poluição *in natura* na praia” (Foc) imprimiram redução na correlação entre as variáveis e na diminuição da capacidade de explicação e significância, portanto não foram inseridas no modelo. Os mesmos comentários feitos sobre o modelo da praia de São Marcos podem ser estendidos a este modelo, no que tange a influência que uma variável de expansão urbana pode estar imprimindo na contaminação e qualidade da água.

No caso peculiar do modelo proposto para a praia do Olho d' Água, o parâmetro que mais pode contribuir para o aumento dos níveis de coliformes totais na água foi o “número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc) e as demais variáveis podem tender para o decréscimo. Este modelo mostrou pouca correlação entre as variáveis propostas no estudo e pouca capacidade de explicação, mesmo considerando correlações entre variáveis uma a uma.

Mesmo assim, sobre o modelo para a praia do Olho d' Água entende-se que o aumento na população urbana e da densidade populacional pode não implicar significativamente na contaminação e qualidade da água desta praia, pois tem pouca influência na quantidade de domicílios ligados a rede coletora de esgotos, até então tida como maior contribuinte nos níveis de coliformes totais na água em localidades sem tratamento de esgoto. Neste caso, o número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos é insignificante se comparado ao número de domicílios com fossa séptica e ao número de domicílios com estruturas inadequadas de esgotamento sanitário, sendo este último mais impactante na contaminação de corpos hídricos superficiais, sendo assim justificada sua influência.

O modelo proposto para a praia do Araçagy mostra que os parâmetros “número estimado de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol), “número estimado de

domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc), “número de focos de poluição *in natura*” (Foc) e “população urbana” (PopUrb), em ordem decrescente de peso, podem influir positivamente no aumento da contaminação da água das praias por coliformes totais. A “densidade populacional” (DensPop) e o “pH da água” contribuem negativamente.

Do modelo para a praia do Araçagy, extrai-se que o aumento da população urbana e, em menor escala, da densidade populacional, similarmente ao que acontece na praia do Olho d’ Água, não implica expressivamente nas formas de esgotamento sanitário mais impactantes na qualidade e contaminação da água, também pelo fato de que o número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos ser insignificante se comparado ao número de domicílios com fossa séptica e ao número de domicílios com estruturas inadequadas de esgotamento sanitário. No tocante, a praia do Araçagy foi a praia com maior quantidade de focos de poluição *in natura*, de tal forma que o modelo comportou tal característica na forma de incremento nos níveis de coliformes totais.

De modo geral, de todas as variáveis, o “número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol) foi a variável que, se considerada sozinha, mais explicou a variação nos níveis de coliformes totais nas praias em estudo, com exceção da Praia do Olho d’ Água, seguido pela “população urbana”(PopUrb) e “número de domicílios com instalações inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc). O número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos explicou 95.54% na variação nos níveis de coliformes totais da praia da Ponta da Areia, 98.23% da praia de São Marcos e 99,87% da praia do Calhau e 95.97% da praia do Araçagy. No caso, da praia do Olho d’ Água, o atributo que mais explicou a variabilidade foi a variável “número de domicílios com estruturas inapropriadas de esgotamento sanitário” (Esc) com explicação de 17.68%.

Os modelos numéricos com as variáveis propostas para as praias em estudo apresentaram grande capacidade de explicação na variabilidade nos níveis de coliformes totais, variando de 63.29% para a praia da Ponta da Areia até 95.49% para a praia de São Marcos. De todas as praias, a praia do Olho d’ Água foi a qual o modelo proposto não explicou satisfatoriamente as variações nos níveis de coliformes totais, conseguindo apenas 16.44% de explicação, como consta na **Tabela 4.5**. Não á toa, a praia do Olho d’ Água apresentou maior variabilidade nos dados repercutindo em uma sazonalidade muito variável e em uma tendência com baixa explicação. Assim, o modelo para a praia do Olho d’ Água pode precisar da agregação de outras variáveis e, portanto, a utilização deste deve ser vista com ressalvas, necessitando de maiores estudos quanto a correlação entre a variação dos níveis de coliformes fecais com outras pressões antrópicas não abarcadas no estudo.



A este ponto vale salientar, que estes modelos numéricos não são modelos acabados e estão abertos à outras variáveis e correlações, outras formas de construção e interpretação, de acordo com a necessidade do pesquisador e a disponibilidade de dados. Intentou-se, sim, uma construção simples, com utilização de variáveis disponibilizadas por instituições públicas, as quais todos têm ou deveriam ter acesso. Ressalta-se que a extração de informações pela manipulação dos modelos requer criticidade e atenção dos pesquisadores, como será mostrado a seguir.

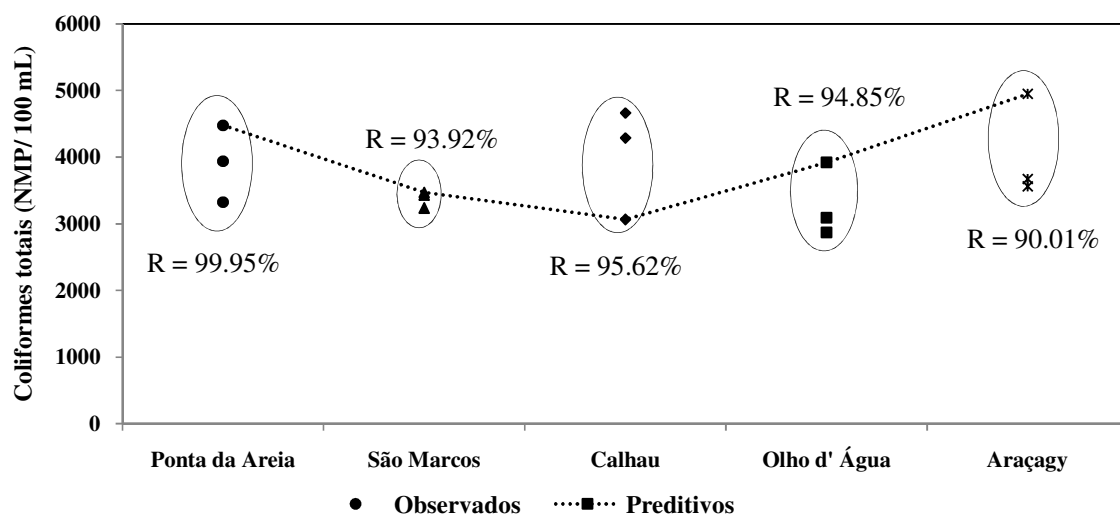
### 4.3.1 Teste e aplicação dos modelos numéricos

#### a. Teste dos modelos

Para testar os modelos, foi feito o acompanhamento dos níveis de coliformes totais na água nos pontos de coleta presentes na **Tabela 3.1** da metodologia, durante o ano de 2009, como consta no **Apêndice A**. As médias anuais por praia foram extraídas, após normalização dos dados segundo as etapas de preparação dos dados no item **3.4.2.a**, e comparadas com os valores preditivos dos modelos para a comprovação de sua eficiência.

Os resultados foram submetidos a tratamentos estatísticos e apresentaram coeficientes de correlação (R) variando entre 90% para o modelo proposto para a praia do Araçagy e 99.95% para o modelo proposto para a praia da Ponta da Areia, como mostra a **Figura 4.28**. No caso do modelo da praia do Olho d' Água mesmo representando baixa explicação na variação dos níveis de coliformes totais na água da praia, este conseguiu bons resultados. Mais ainda assim, deve ser visto com cautela.

Por meio destas correlações foi determinado que a variação prevista dos níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL pelos modelos estava dentro do observado na prática. E, considerando que os pontos acompanhados em cada praia foram estatisticamente diferentes entre si ( $p < 0.001$ ), pode intentar-se aplicar os modelos em pontos diferentes sendo consideradas condições próximas as da pesquisa. Com base nisto, foram realizadas simulações na forma de cenários hipotéticos para determinação dos níveis anuais de coliformes totais de acordo com incrementos ou constrição nas variáveis dos modelos, como explicita o próximo item.



**FIGURA 4.28** – Comparação entre os valores preditivos pelos modelos propostos e os valores observados de coliformes totais (NMP/ 100 mL) na água em trechos das praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' Água e Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2009 (Onde: R = coeficiente de correlação).

#### b. Aplicação dos modelos

Os modelos numéricos foram aplicados considerando dois cenários hipotéticos, um otimista, e um pessimista/ realista.

O cenário otimista compreende um planejamento urbano orientado ao ordenamento sustentável do espaço urbano e ao saneamento ambiental, repercutindo na (1) operacionalização das estações de tratamento de esgotos com abrangência de 100% dos domicílios ligados a rede coletora de esgotos comunicados e com estruturas inadequadas de saneamento básico; (2) resolução dos problemas ocasionados pelos focos de poluição *in natura* pela sua total supressão; e (3) crescimento populacional mantido a uma taxa de 2.5% ao ano.

Uma das grandes limitações identificadas nos modelos propostos reside no fato da grande influência das formas de esgotamento sanitário nas variações nos níveis de coliformes totais e principalmente, quando da total falta de saneamento básico (tratamento de esgotos). Como a variável “número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol) explica grande parte da variação dos coliformes totais nos modelos, um incremento neste atributo poderia implicar necessariamente em aumento dos níveis de coliformes totais na água. No entanto, se houver aumento do número de domicílios ligados a rede coletora de

esgotos, concomitantemente à comunicação total da rede coletora com estações de tratamento de esgotos os modelos podem perder em significância e em explicação.

No caso do cenário otimista apresentado, uma análise crítica permite entender que as variáveis “número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos” (RedCol) e “número de domicílios com estruturas inadequadas de esgotamento sanitário” (Esc) perdem seus pesos, podendo ser suprimidas dos modelos. Em função da atuação dos órgãos de monitoramento, a variável “número de focos de poluição *in natura*” (Foc) também pode ser retirada dos modelos, pois se iguala a zero (0). Desta forma, os modelos ficam condicionados aos atributos de expansão urbana, “densidade populacional” (DensPop) e “população urbana” (PopUrb), e de “potencial hidrogeniônico da água” (pH), este último tomado como igual a oito (8.0), típico da água do mar.

Os modelos numéricos nos quais as variáveis de saneamento básico (“RedCol”), tem maior capacidade de explicação, tenderam a gerar valores negativos para níveis de coliformes totais. Isto pode ser corrigido com a mudança de sinal do termo independente, que implica no deslocamento do modelo sobre o eixo y (translação vertical) na mesma ordem de grandeza e de comportamento, como menciona Morettin & Tolo (2006), propiciando melhor adaptação do modelo às novas condições e reduzindo a dificuldade de mensuração dos comportamentos.

Foram projetados, assim, para um período de dez anos (2010 a 2020) as variações nos níveis de coliformes totais (NMP/ 100 mL), sendo mantidas as taxas de crescimento populacional de 2.5% a.a para projeção geométrica da população dada pela **Equação 3** (BIDONE, 2007) e submetendo os dados a transformações necessárias á obtenção de uma distribuição mais próxima da normal quanto possível segundo o item **3.4.2.a**, obteve-se as **Figuras 4.29 a 4.33**.

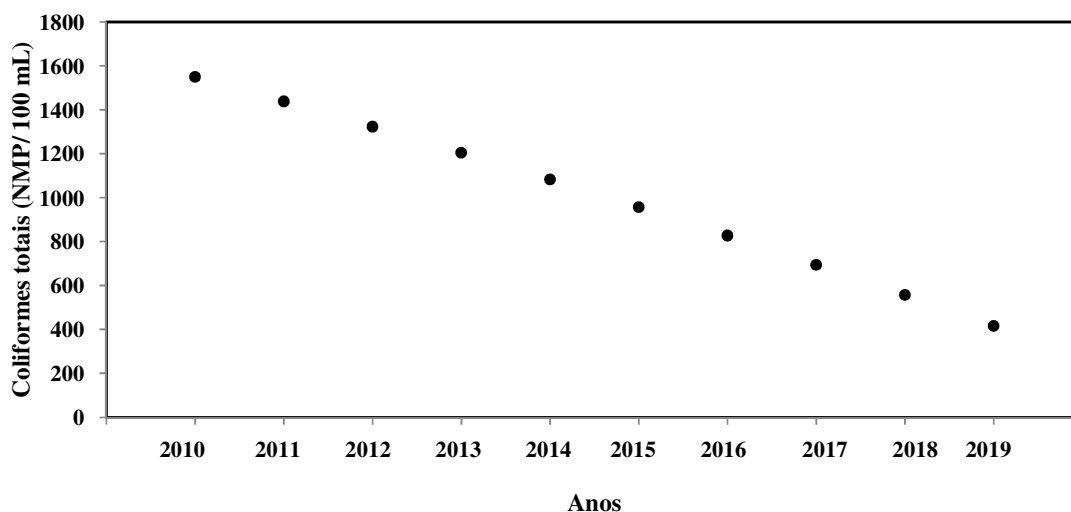
$$P_n = P_o * (1 + T_x)^t$$

(Equação 3)

Onde,  $P_o$  = população no ano base,  $P_n$  = população projetada,  $T_x$  = taxa de crescimento,  $t$  = período.

As previsões para os níveis de coliformes na água da praia da Ponta da Areia apresentadas na **Figura 4.29** para os anos de 2010 a 2020, refletem um decréscimo expressivo, quando considerado um cenário de melhores condições de saneamento básico. Pelo modelo, a variável que fornece maior incremento nos níveis de coliformes totais é

“número de domicílios ligados a rede coletora” (RedCol). Uma vez esta variável sendo desconsiderada, juntamente com os outros parâmetros de saneamento (“Esc” e “Foc”), o modelo ficou condicionado ao atributo de expansão urbana (“PopUrb”), que imprime redução nos níveis dos coliformes totais, nas condições da praia da Ponta da Areia. Sendo assim, diante de um cenário de efetivação do saneamento ambiental, a praia da Ponta da Areia pode apresentar melhoria significativa na qualidade de suas águas.



$$\text{ColTot} = [4830.906 + (0.128 * \text{RedCol}) - (0.027 * \text{Esc}) - (128 * \text{pH}) - (0.004 * \text{PopUrb}) - (128 * \text{Foc})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.29 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL, para trecho da Praia da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

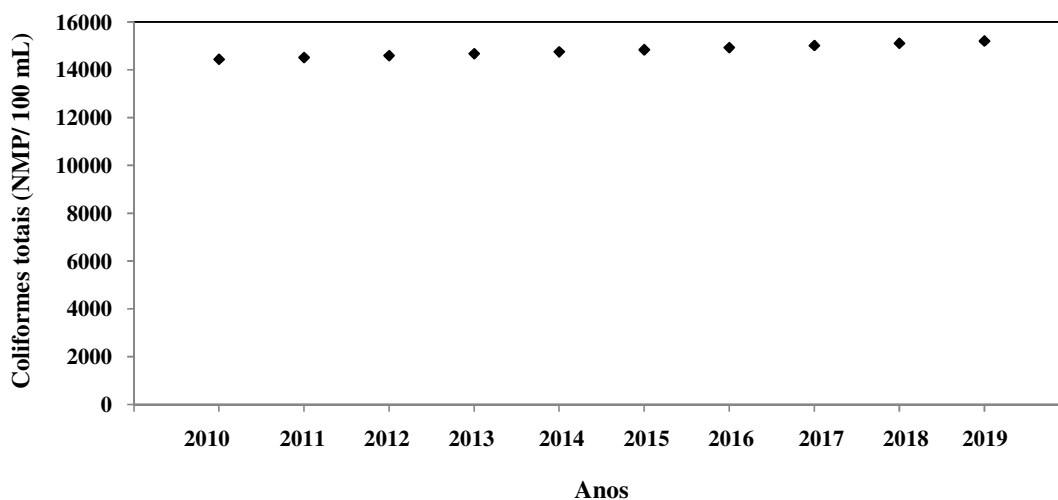
Pela **Figura 4.30**, as previsões para a praia de São Marcos indicaram a possibilidade de haver influência do crescimento populacional nas condições de suas águas quando sanados problemas de saneamento básico. O modelo para esta praia, abarca todos os atributos de saneamento básico (“RedCol”, “Esc” e “Foc”), porém o incremento maior nos níveis de coliformes totais é dado pela variável “RedCol”, somada a variável de expansão urbana, “DensPop”. De tal forma, que se havendo redução ou eliminação das variáveis de saneamento básico, o modelo passa a ser condicionado pelo atributo “DensPop”. Assim, com aumento populacional haverá um leve aumento, segundo o modelo proposto, nos níveis de coliformes totais na água da praia.



$$\text{ColTot} = [4960.61 + (0.16 * \text{RedCol}) - (0.08 * \text{Esc}) - (178 * \text{pH}) - (161 * \text{Foc}) + (0.56 * \text{DensPop})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.30 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia de São Marcos, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

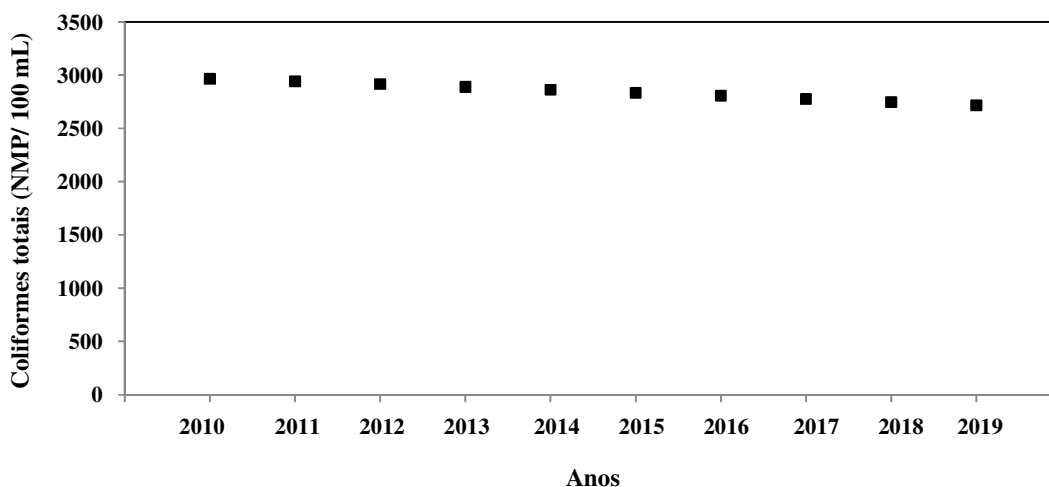
Na praia do Calhau (**Figura 4.31**), aparece uma previsão de comportamento semelhante ao da praia de São Marcos. Neste caso, no modelo, quando eliminados os parâmetros de saneamento básico (“RedCol” e “Esc”), o incremento nos níveis de coliformes totais fica condicionado principalmente pela variável de expansão urbana “PopUrb”, que também conferiu um leve aumento nos níveis de coliformes fecais na água da praia, similarmente a contribuição do atributo “DensPop” para a praia de São Marcos. Nota-se que tanto para ambas as praias, sobretudo na praia do Calhau, mesmo desconsiderando o baixo incremento preditivo, os níveis de coliformes totais ao longo do tempo ficaram muito acima dos cenários projetados para as demais praias nas mesmas condições.



$$\text{ColTot} = [13249.568 + (0.134 * \text{RedCol}) - (0.049 * \text{Esc}) - (1.063 * \text{DensPop}) + (0.004 * \text{PopUrb})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.31 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Calhau, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

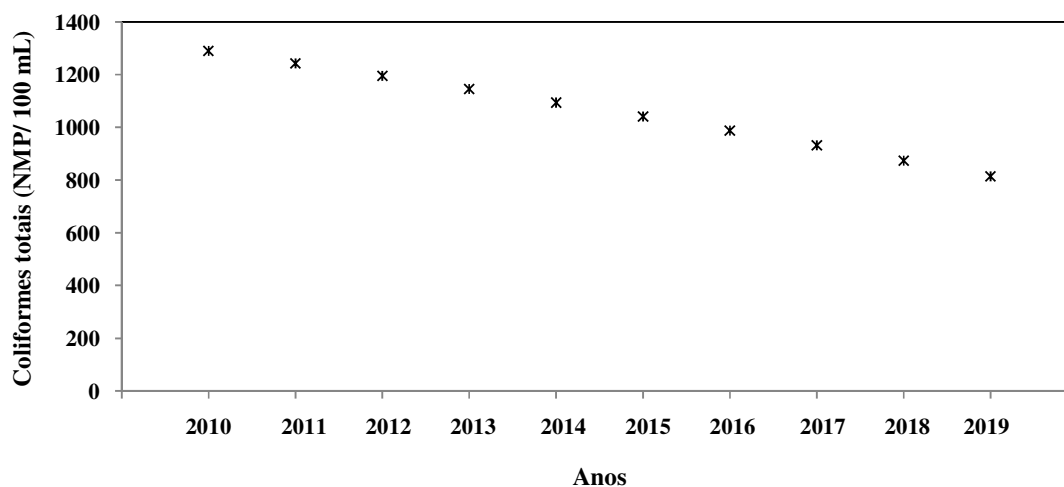
O modelo da Praia do Olho d' Água na **Figura 4.32**, diante do cenário otimista onde os atributos de saneamento básico perderam peso, ficou condicionado às variáveis de expansão urbana (“PopUrb” e “DensPop”) que juntas não oferecerem grandes variações aos níveis de coliformes totais. Assim, praia representou uma breve diminuição dos níveis de coliformes totais na água. Considerando a baixa explicação imposta pelos atributos ao modelo, as previsões para um período de dez anos, findados os problemas de esgotamento sanitário, indicam que ainda pode haver depreciação da qualidade da água pela expansão urbana e por outras variáveis não incorporadas pelo modelo.



$$\text{ColTot} = [5230.4610 - (128 * \text{pH}) - (0.0005 * \text{PopUrb}) - (0.3125 * \text{DensPop}) - (0.0078 * \text{RedCol}) + (0.0137 * \text{Esc}) - (72 * \text{Foc})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.32 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Olho d’Água, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

Na **Figura 4.33** que mostra os valores previstos pelo modelo proposto para a praia do Araçagy, a supressão das variáveis de saneamento básico implicou em redução acentuada nos níveis de coliformes totais na água da praia. Diferente dos modelos propostos para as praias de São Marcos e do Calhau, que também contam com incrementos tanto de atributos de saneamento básico (“RedCol”), quanto de expansão urbana (“DensPop” e “PopUrb”, respectivamente), o modelo para a praia do Araçagy incorpora todos os incrementos dos atributos de saneamento básico (“RedCol”, “Esc” e “Foc”) conferindo maior importância a estes em detrimento do atributo de expansão urbana (“PopUrb”). Assim sendo, pelas previsões esta praia pode apresentar melhoria significativa na qualidade de suas águas nas condições atribuídas pelo cenário.

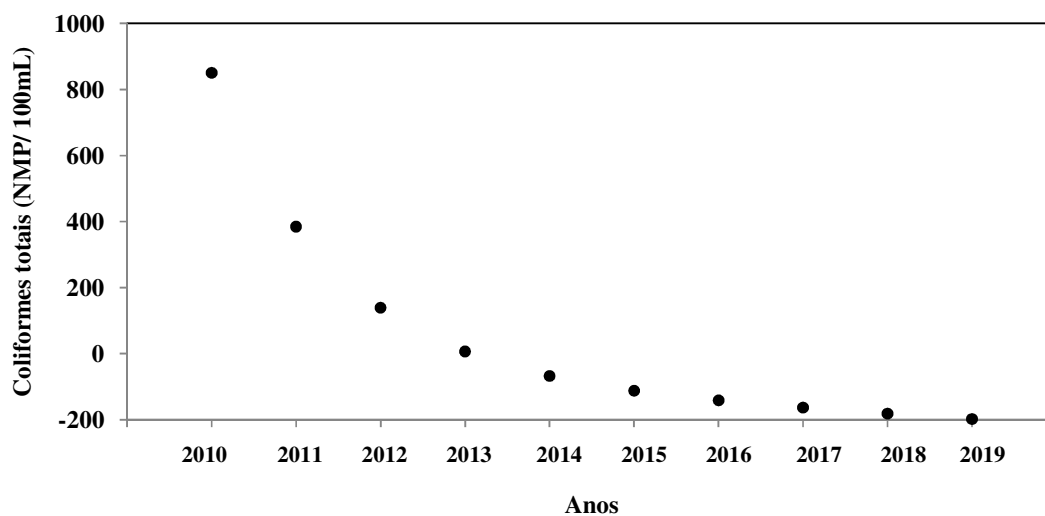


$$\text{ColTot} = [ 2979.03 - (23.43 * \text{pH}) + (1.04 * \text{PopUrb}) - (216.68 * \text{DensPop}) + (11.17 * \text{RedCol}) + (7.134 * \text{Esc}) + (4.76 * \text{Foc}) ] * \text{FS}$$

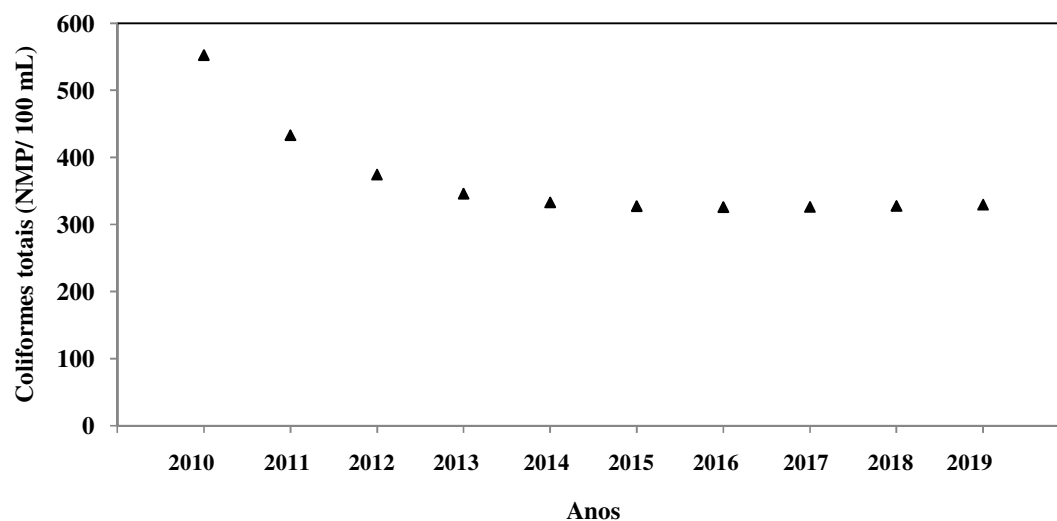
**FIGURA 4.33 – Previsão otimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

Na oportunidade para testar a aplicabilidade em situações diferentes, propõe-se um cenário otimista intermediário. Considera-se agora, que o alcance da operacionalização das estações de tratamento de esgotos cresça 50% a.a. para os domicílios ligados a rede coletora de esgotos ao ano, extrapolando também esta taxa para os domicílios com formas inadequadas de esgotamento sanitário. Também se consideram reduzidos pela metade os focos de poluição *in natura* e mantida a taxa de crescimento populacional de 2.5% a.a. Neste aspecto, foram feitas as projeções dispostas nas **Figuras 4.34 a 4.38**.

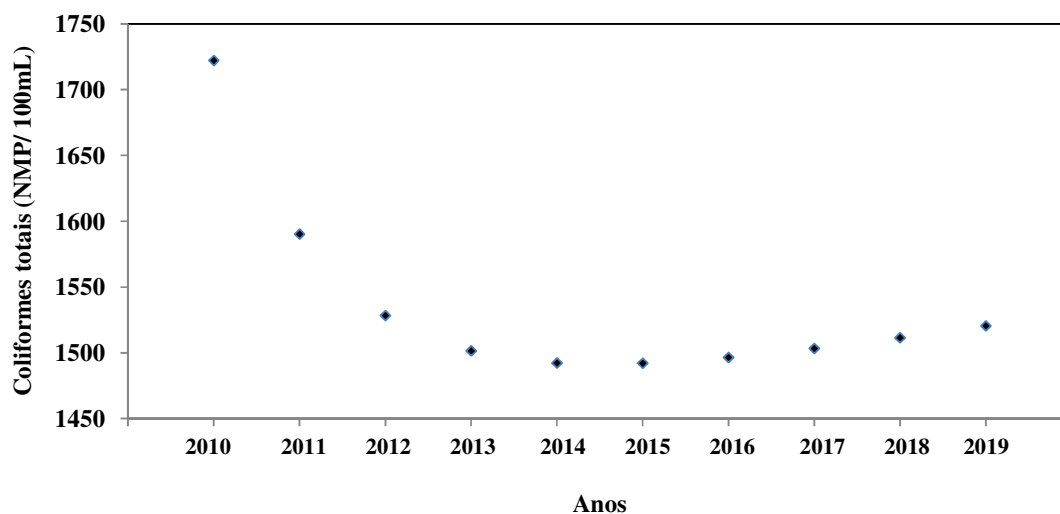




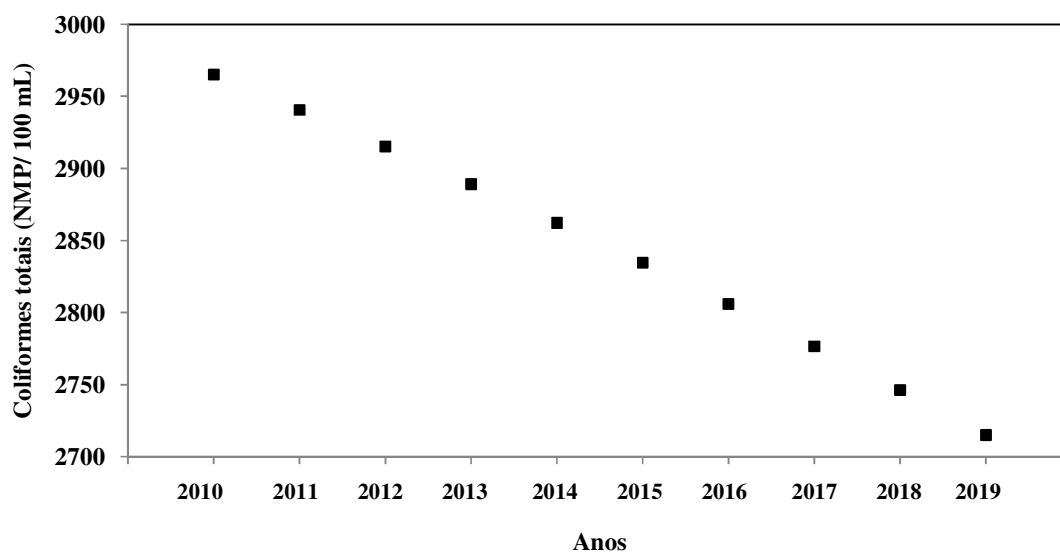
**FIGURA 4.34 –** Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL, para trecho da Praia da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.



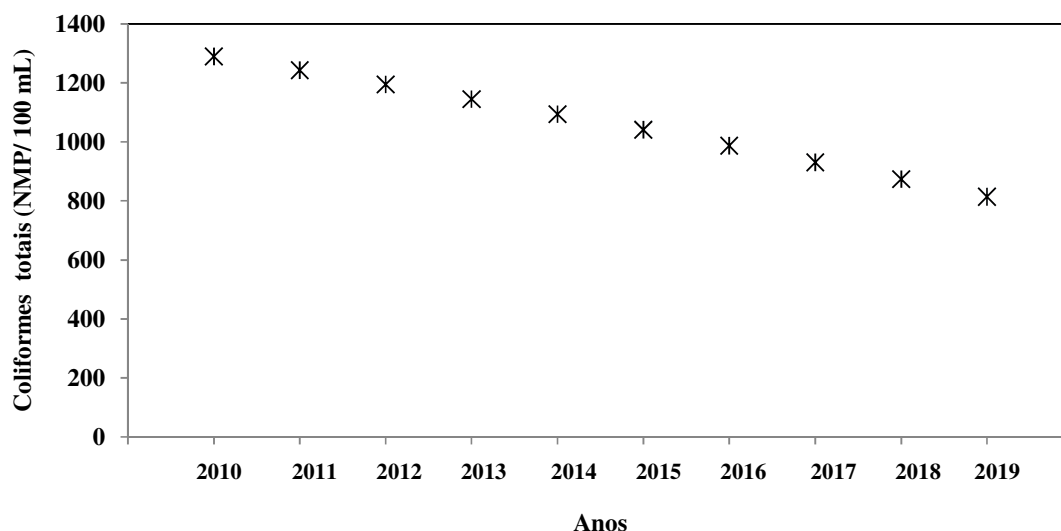
**FIGURA 4.35 –** Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia de São Marcos, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.



**FIGURA 4.36 –** Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Calhau, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.



**FIGURA 4.37 –** Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Olho d'Água, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.



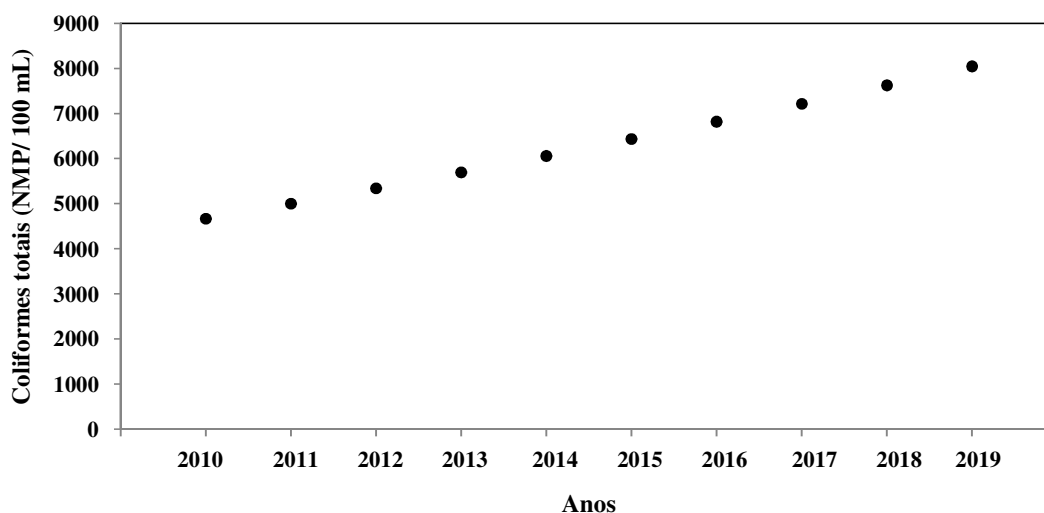
**FIGURA 4.38 – Previsão para um cenário intermediário, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

As mesmas discussões anteriores sobre o cenário otimista podem ser estendidas ao cenário intermediário. Assim, quando considerado um cenário de melhores condições de saneamento básico, representadas pela redução efetiva e progressiva das formas de esgotamento sanitário mais impactantes, pode haver redução da contaminação e melhoria da qualidade da água das praias, considerando as correlações entre as variáveis e condições propostas. Ainda com base no cenário otimista intermediário, a redução proposta nos atributos de saneamento básico não implicou em perda da capacidade de explicação e da significância do modelo. Nas **Figuras 4.35 a 4.38**, fica mais evidente a atuação do fator sazonal representada pela maior variabilidade conferida as projeções dos comportamentos.

Analisando um cenário pessimista/realista, onde são mantidas as condições atuais de planejamento urbano deficitário somado a ausência de tratamento de esgoto, repercutindo no aumento gradativo no número de focos de esgoto *in natura* nas praias e no aumento dos domicílios ligados a rede coletora de esgotos e dos domicílios com estruturas de esgotamento sanitário inadequadas condicionado por uma taxa de crescimento da população de 3% a.a. Neste caso, os modelos estão mais bem ajustados, trazendo previsões quanto mais fidedignas quanto possível dos níveis de coliformes totais na água das praias considerando plenamente as variáveis propostas, como constam nas **Figuras 4.39 a 4.43**.

Como já previsto, os valores preditivos para o cenário pessimista indicaram aumento nos níveis de coliformes na água da praia da Ponta da Areia, como apresentado na **Figura 4.39** para os anos de 2010 a 2020. Todos os atributos atuaram na variabilidade nos níveis dos coliformes totais, diferente do ocorrido no cenário otimista onde as variáveis de saneamento básico não influíram no modelo. Assim, mantidas as taxas de crescimento populacional e as condições de saneamento básico, haverá acréscimo gradativo na contaminação das praia, culminando na perda da qualidade da água.

As previsões diferem do comportamento contido no item **4.2.4 (Figura 4.23)**, provavelmente em função da relação entre diminuição dos níveis de coliformes com a gradativa diminuição do número de focos de poluição *in natura* diagnosticada pela análise das séries temporais nos anos de 1989 a 2007 e pesquisa em campo, contra o aumento deste atributo de acordo com o cenário pessimista.

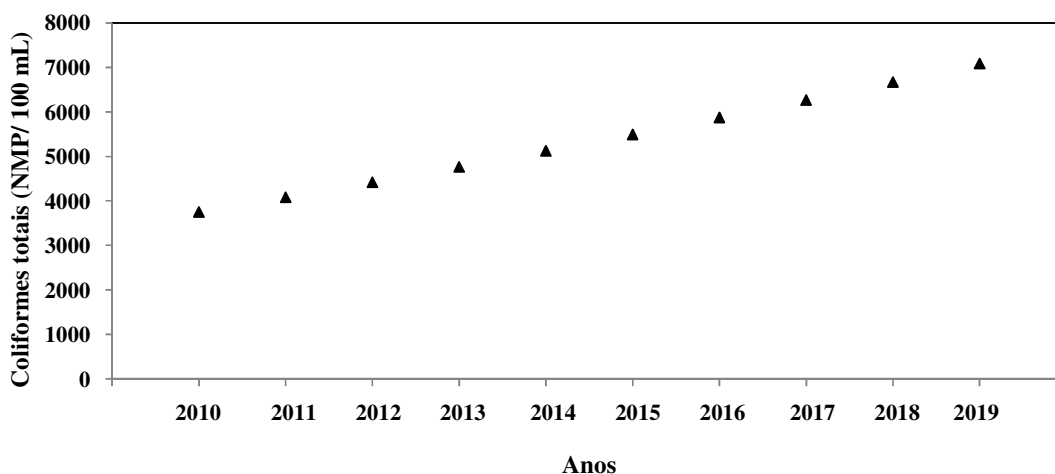


$$\text{ColTot} = [- 4830.906 + (0.128*\text{RedCol}) - (0.027*\text{Esc}) - (128*\text{pH}) - (0.004*\text{PopUrb}) - (128*\text{Foc})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.39 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

Pela **Figura 4.40**, as previsões pessimistas para a praia de São Marcos indicam aumento nos níveis de coliformes totais quando consideradas todas as variáveis de expansão urbana e de saneamento básico, como ocorrido nas previsões para a praia da Ponta da Areia.

No caso da praia de São Marcos, tanto a densidade populacional (“DensPop”) quanto o número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos (“RedCol”) podem aumentar significativamente a quantidade de coliformes da água segundo o modelo, de tal forma que a amplitude da variação desta quantidade aumenta consideravelmente se comparado ao cenário onde estão sanados os problemas de saneamento básico abarcados na pesquisa e no modelo. Portanto, se mantidas as condições atuais, pode haver aumento nos níveis de coliformes totais na água da praia.

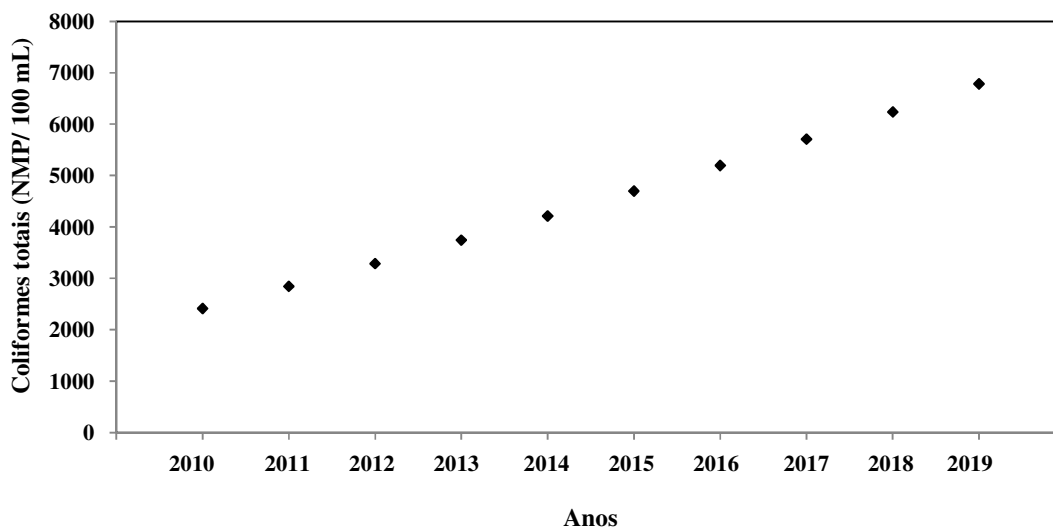


$$\text{ColTot} = [- 4960.61 + (0.16*\text{RedCol}) - (0.08*\text{Esc}) - (178*\text{pH}) - (161*\text{Foc}) + (0.56*\text{DensPop})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.40 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia da São Marcos, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

Segundo **Figura 4.41**, a praia do Calhau mantém uma previsão de comportamento semelhante ao da praia de São Marcos, como ocorrido também no cenário otimista. Aqui, tanto a população urbana (“PopUrb”) quanto o número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos (“RedCol”) podem influir no aumento significativo da quantidade de coliformes totais na água segundo o modelo proposto. Nota-se que previsões para a praia do Calhau indicaram que os valores de coliformes totais na água ao longo do tempo se mostraram mais realistas se comparados aos da **Figura 4.30** do cenário otimista, onde estes ficaram muito acima dos níveis nas demais praias. Este fato, provavelmente se deve ao fato dos modelos estarem mais adaptados às predições pessimistas, em função de terem sido

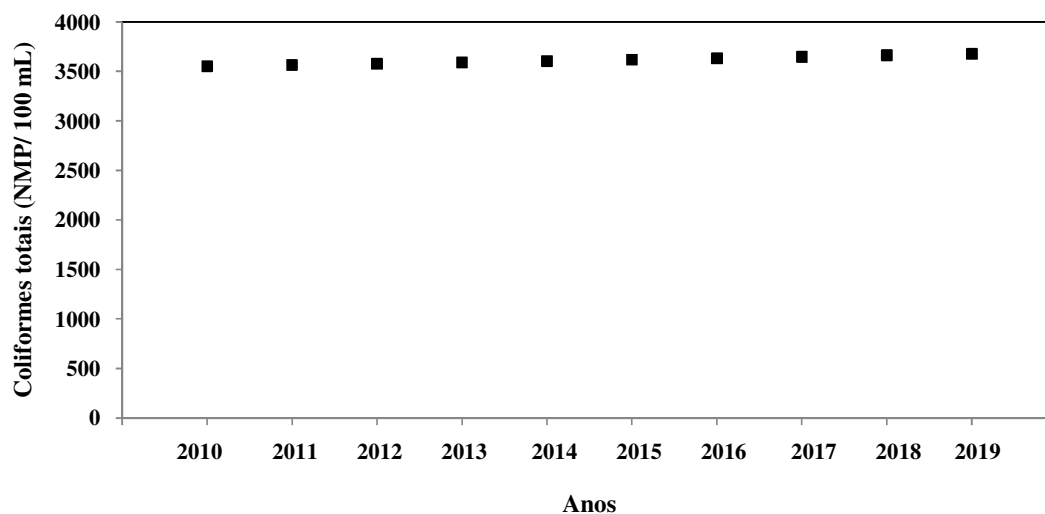
construídos com base no agravamento gradativo da depreciação da água correlacionada às variáveis de expansão urbana e de saneamento básico.



$$\text{ColTot} = [-13249.568 + (0.134 * \text{RedCol}) - (0.049 * \text{Esc}) - (1.063 * \text{DensPop}) + (0.004 * \text{PopUrb})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.41 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Calhau, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

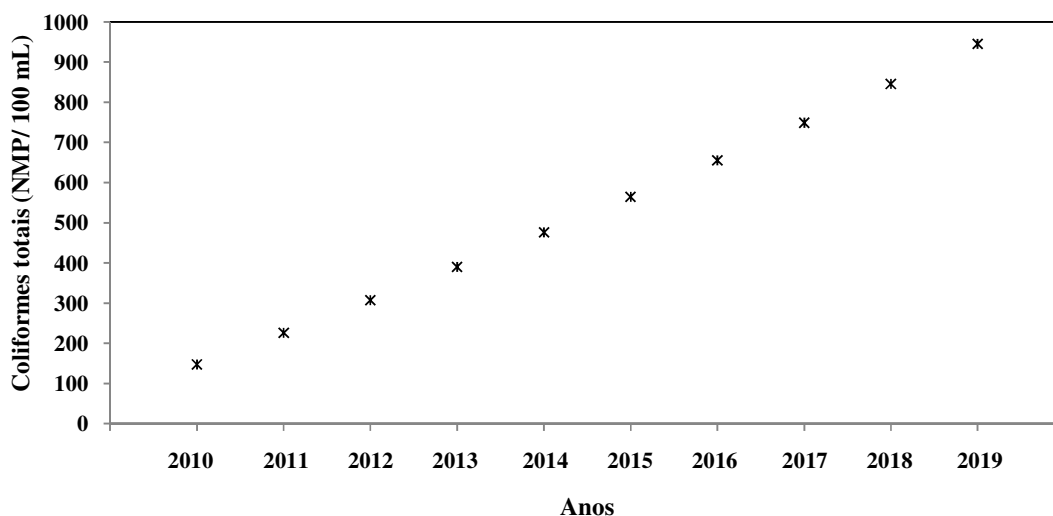
A previsão para a praia do Olho d' Água na **Figura 4.42** representou um breve crescimento nos níveis de coliformes totais diante do cenário pessimista, onde houve contribuição de todos os atributos na análise da variação dos níveis de coliformes totais, dos níveis de coliformes totais na água. A baixa explicação imposta pelos atributos ao modelo pode elucidar a baixa da amplitude da variação, como denotado também na **Figura 4.31**.



$$\text{ColTot} = [5230.4610 - (128 * \text{pH}) - (0.0005 * \text{PopUrb}) - (0.3125 * \text{DensPop}) - (0.0078 * \text{RedCol}) + (0.0137 * \text{Esc}) - (72 * \text{Foc})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.42 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, para os níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Olho d' Água, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020.**

A **Figura 4.43** mostra os valores previstos pelo modelo proposto para a praia do Araçagy segundo o cenário pessimista, onde pode se perceber que, da mesma forma das demais praias, a contribuição em conjunto das variáveis de expansão urbana e de saneamento básico ao modelo proposto podem implicar na perda de qualidade da água justificada pelo aumento gradativo dos níveis de coliformes totais.



$$\text{ColTot} = [-2979.03 - (23.43 * \text{pH}) + (1.04 * \text{PopUrb}) - (216.68 * \text{DensPop}) + (11.17 * \text{RedCol}) + (7.134 * \text{Esc}) + (4.76 * \text{Foc})] * \text{FS}$$

**FIGURA 4.43 – Previsão pessimista, segundo modelo proposto, de níveis de coliformes totais em NMP/ 100 mL para trecho da Praia do Araçagy, Ilha do Maranhão (Brasil), 2010-2020**

### 4.3.2 Limitações dos modelos

1. As variáveis de expansão urbana e de saneamento básico são estimadas em função da análise dos setores censitários e de outros dados coletados pelo IBGE, podendo imprimir complexidade aos modelos quanto ao uso de ferramentas estatísticas para este fim.
2. Os modelos mostraram complexidade na alimentação e extração de informações, em função em maior parte do uso de atributos passíveis de variações inconstantes entre as esferas (expansão urbana x saneamento básico) e dentro das próprias esferas (densidade populacional x população urbana, número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos x número de domicílios com estruturas inadequadas de saneamento básico x número de domicílios com fossa séptica).
3. Os modelos construídos nesta pesquisa são notoriamente limitados do ponto de vista de variáveis explicativas da relação entre pressões antrópicas e o meio ambiente, e podem ser considerados tendenciosos pois sua construção foi dependente da disponibilização de dados oficiais por órgão públicos e de literatura pertinente ao tema.



4. Os modelos foram construídos considerando cenários de maré vazante, sendo necessários maiores estudos para a criação de adaptações para maré enchente e outras variáveis oceanográficas.
5. Empiricamente, os modelos mostraram-se abertos a manipulações conforme a complexidade da análise, contudo se considerado um curto prazo de predição.
6. A linearidade dos modelos pode implicar no afastamento da realidade. O uso dos fatores sazonais pode diminuir este afastamento e imprimir maior variabilidade às previsões dos comportamentos.
7. A alternativa da mudança do sinal do termo independente para correções em situações como as dos cenários otimista e intermediário pode implicar em diminuição da significância para os modelos nas previsões em longo prazo.

## 5 CONCLUSÕES

Os níveis de coliformes totais na água das praias são diretamente ligados a contaminação por esgotos domésticos, assim as tendências crescentes identificadas para as séries de dados destes níveis corroboram a contaminação e a depreciação gradativa da qualidade da água nos anos 1989 a 2007.

A sazonalidade inerente a qualquer variável ambiental, no caso das séries de dados para coliformes totais em água do mar, mostrou-se altamente significativa e de amplitude variável, o que indica grande variabilidade e impõe maior dificuldade na observação de comportamentos reais.

A identificação de fatores sazonais responsáveis pela variabilidade nos níveis de coliformes totais da água das praias pesquisadas foi importante para a visualização dos comportamentos. Os comportamentos, após suavização da tendência e variabilidade, indicaram um crescimento expressivo dos níveis de coliformes totais na água das praias estudadas nos anos 1989 a 2007.

Os modelos numéricos propostos, agregando as influências de pressões antrópicas sobre os níveis de coliformes totais na água de praias, tiveram mérito na projeção dos comportamentos dos níveis de coliformes totais na água das praias considerando as pressões antrópicas sobre o diagnóstico feito pela análise das séries temporais, mais do que propriamente na projeção numérica.

Pelas projeções, diante de um cenário de supressão ou redução das pressões impostas pela falta de planejamento urbano no que concerne ao saneamento ambiental, pode haver melhoria, manutenção ou não agravamento, em menor ou maior escala, da qualidade da água das praias pesquisadas pela diminuição da carga domiciliar.

Em contrapartida, os modelos informam que para um cenário onde são mantidas e pioradas as condições atuais, poderá haver agravamento progressivo do quadro diagnosticado na análise das séries temporais para dados de coliformes totais das praias estudadas.

Tais conclusões obviamente são prerrogativas das variáveis utilizadas no estudo. Os modelos propostos são abertos e inacabados, e estão em fase de refinamento teórico-prático, devendo ser incorporadas outras variáveis segundo disponibilidade das mesmas e o interesse do pesquisador para fundamentar outros estudos que possam responder às questões iniciadas e abertas por esta pesquisa.

As ferramentas propostas na pesquisa tiveram o intuito de avaliar os comportamentos dos níveis de coliformes totais na água das praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d' Água e Araçagy da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil) e seus condicionantes antrópicos. Porém, há de se ter em mente que esta análise é uma aferição indireta e que deve ser utilizada como instrumento subsidiário na gestão sustentável do espaço estudado e na avaliação das políticas públicas traçadas na área de gerenciamento dos recursos hídricos.

Diante das metas do gerenciamento costeiro integrado de guiar o desenvolvimento da área costeira de forma sustentável, de minimizar os conflitos e efeitos negativos derivados das atividades antrópicas sobre os recursos e o ambiente, de manter ou restaurar o balanço entre o ambiente natural e urbano e integrar o desenvolvimento à conservação, as séries temporais e os modelos numéricos foram, na realidade, representações do retrocesso em direção às metas propostas e à sustentabilidade da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. **Litoral do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2001.
- AB'SABER, A.N. Contribuição à Geomorfologia do Estado do Maranhão. **Notícia Geomorfológica**. Departamento de Geografia da UNICAMP. Campinas. São Paulo, 1960.
- AGENDA 21. **Programme of action for sustainable development**. New York: United States, 1992.
- ALBERTIN, L. L. **Avaliação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim (SP) através do Simulador Computacional MIKE BASIN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. 160f.
- ANELE, L. P.; SILVA, M. L. B. C.; FERRARO, L. M. W.; NICOLODI, J. L. Usos e ocupação da faixa de praia no litoral norte do Rio Grande do Sul – uma experiência de gestão compartilhada. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.
- ANGELINI, R. Ecossistemas e modelagem ecológica. In: POMPEO, M. L. M. **Perspectivas da limnologia no Brasil**. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999. (Cap.1).
- ÂNGULO, R.J. As Praias do Paraná: problemas decorrentes de uma ocupação inadequada. **R. Paran. Desenv.**, n. 99, p. 97-103, Curitiba, jul./dez. 2000.
- ARAÚJO, M. C. B.; SOUZA, S. T.; CHAGAS, A. C. O.; BARBOSA, S. C. T.; COSTA, M. F. Análise da ocupação urbana das praias de Pernambuco, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 7 (2), 97-104, 2007.
- AURELIANO, J. T. **Balneabilidade das praias de Pernambuco: o núcleo metropolitano**. Dissertação (Gestão e Políticas Ambientais). Universidade Federal de Pernambuco, 2000. 113f.
- AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; PORTO, M. Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: Metodologia e Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 21-51, 1998.
- BALLINI, R. **Análise e previsão de vazões utilizando modelos de séries temporais, redes neurais e redes neurais nebulosas**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- BEGA, R. M. **Variabilidade espacial e temporal das precipitações pluviiais e das perdas de água e solo em Pindorama-SP**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- BIDONE, E.D. & MORALES, P.R.D. **Desenvolvimento sustentável e engenharia**. Rio de Janeiro: Fundação Ricardo Franco, 2004.
- BIDONE, E.D. Aulas de Economia Ambiental (Acervo pessoal), 2007.
- BOLLMANN, H.A. **Relação da densidade populacional sobre variáveis de qualidade físico-química das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre- RS**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- BRASIL. Constituição Federal de 05 de outubro de 1988. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/sf/legilacao/const/>>. Acesso em: 04 março 2009.
- BRASIL. Decreto Presidencial nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei Federal nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, dispõe de regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providencias. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br>>. Acesso: 04 março 2009.

- BRASIL. Decreto Presidencial nº 5.377, de 23 de fevereiro de 2005. Institui a Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br>>. Acesso: 04 março 2009.
- BRASIL. Lei Federal nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br>>. Acesso: 04 março 2009.
- BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. In: FREITAS, Vladimir Passos de (Coord.). **Águas: aspectos jurídicos e ambientais**. Curitiba: Juruá, 2000. p. 209-215.
- BRASIL. Plano de Ação Federal da Zona Costeira do Brasil (PAF). Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro – GIGERCO. Brasília, 2005.
- BRETON, F.; CLAPÉS, J.; MARQUÈS, A. & PRIESTLEY, G. Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União, **Ocean and Coastal Management**. 32(3):153-180, 1996.
- BROCKWELL, P. J. & DAVIS, R. A. Introduction to time series and forecasting. Springer, New York, 1996.
- BUCHIANERI, V. C. **Geração da série histórica de vazão por meio do Modelo SMAP: subsidio para o plano de manejo da Bacia do Rio Grande de Ubatuba**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), USP, Piracicaba, 2004.
- CAVALHEIRO, D. **Método de previsão de demanda aplicada ao planejamento da produção de indústrias de alimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UFSC, Florianópolis, 2003.130f.
- CETESB. **Evolução da qualidade das praias, 2004**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/evolucao.asp>>. Acesso em: 09 jan. 2009.
- CETESB. **Relatório de qualidade das águas litorâneas do estado de São Paulo: balneabilidade das praias 2006**. São Paulo: CETESB, 2007.
- CETESB. **Relatório de qualidade das águas litorâneas do estado de São Paulo: balneabilidade das praias 2007**. São Paulo: CETESB, 2008.
- CHATFIELD, C. The analysis of time series: an introduction. 6 ed. Chapman & Hall/ CRC, New York, US, 2004.
- CICIN-SAIN, B. & KNECHT, R.W. Integrated Coastal and Ocean Management: concepts and practices. Washington DC: Island Press, 1998.
- CIDRAL JÚNIOR, José. **Estudo da balneabilidade na Praia dos Ingleses, município de São Francisco do Sul**. Monografia (Especialização em Geografia), Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 1994.
- CIRM - Comissão Interministerial de Recursos do Mar. Resolução nº 005, de 03 de dezembro de 1997. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-II e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/gerco/decretos.asp>>. Acesso: 04 março 2009.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 14 jan. 2009.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 14 jan. 2009.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 14 jan. 2009.
- CONSTANZA, R. *et al.* **Ecological economics: the science and management of sustainability**. Nueva York: Columbia University Press, 1991.
- DA SILVA, V.C. **Avaliação das condições higiênico-sanitárias da água das praias do município de São Luis - MA**. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente). Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2006. 46f.

- DE COURSEY, D. G. Mathematical models for nonpoint water pollution control. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.40, n.5, p.408-413, set/out 1985.
- DE KRUIJF, H. A. M. & VAN VUUREN, D. P. Following Sustainable Development in Relation to the North-South Dialogue: Ecosystem Health and Sustainability Indicators. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 40, 1998.
- DOOGE, J. C. I. Linear theory of hydrological system. **Technical Bulletin ARS**, UD Department of Agriculture, 1973, p.1948.
- DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1983.
- EHLERS, R. S. Análise de séries temporais.
- FEITOSA, Antonio Cordeiro **O Maranhão primitivo: uma tentativa de constituição**. São Luís: Ed. Augusta, 1983.
- FEITOSA, Antonio Cordeiro. **Evolução morfo genética do litoral norte da ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1989.
- FERREIRA. Antônio José de. **A Urbanização e a Problemática Ambiental em São Luís**. Monografia de Especialização, UFMA, São Luís, 1993, 88fls.
- FIGUEIREDO, D. M. **A influência dos fatores climáticos e geológicos e da ação antrópica sobre as principais variáveis físicas e químicas do Rio Cuiabá, Estado de Mato Grosso**. Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 1996.
- FORESTER, D. L. Water quality in the credit river 1964-1998. Canadá Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 2000.
- FROTA, F. V, PINHEIRO, L. DE S.; PAULA, J.E.A. **As formas de uso das praias em áreas urbanas: implicações para a revitalização da Praia do Araújo- Fortaleza- CE**. II CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA. 09 a 12 de outubro de 2005, Vitória, Brasil.
- GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators: a system approach. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 1, 1996.
- GOMES, A. G. & VARRIALE, M. C. **Modelagem de ecossistemas: uma abordagem**. 2 ed. Santa Maria: Ed.UFSM, 2004.
- GROPPO, J.D. **Estudo de tendências nas séries temporais de qualidade de água de rios do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.
- GROPPO, J.D. et al. Análise de series temporais de vazão e de precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista Ciência & Tecnologia**, v.8, n.18, pp.109-117, 2001.
- HARDI, P. & BARG, T. **Assessing sustainable development: principles in practice**. Winnipeg: IISD, 1997.
- IISD – International Institute for Sustainable Development. **Developing a sustainability indicators system to measure the well-being of Winnipeg’s first nations community: framework development and the community engagement process (preliminary report)**. Winnipeg: IISD, 2003.
- LEFF, E. **La insoportable levedad de la globalización: la capitalización de la naturaleza y las estrategias fatales de la sustentabilidad**. Foro de Economía Política, 2000.
- LIMA, L.S. **A participação no Conselho Ambiental da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande – RS): diálogos entre a educação ambiental conservadora e o gerenciamento costeiro integrado**. Dissertação (Mestrado em Educação Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande, 2009. 147f.

- MALETZKE, A. G. **Uma metodologia para a extração de conhecimento e informações em séries temporais por meio da identificação de motifs e da extração de características**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- MARANHÃO. Constituição Estadual de 05 de outubro de 1989. Disponível em: <<http://www.ma.gov.br/>>. Acesso em: 04 março 2009.
- MARANHÃO. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Turismo do Maranhão. **Diagnóstico dos Principais Problemas Ambientais do Estado do Maranhão**. São Luís: Lithograf, 1991. 193p.
- MARANHÃO. Lei Estadual nº 4.669 de 11 de outubro de 2006. Institui o Plano Diretor de São Luis. Disponível em: <<http://www.ma.gov.br/>>. Acesso em: 04 março 2009.
- MATOS, C. Desenvolvimento sustentável nos territórios da globalização: alternativa de sobrevivência ou nova utopia? In: BECKER, B.K. & IRANDA, M. (orgs). **A geografia política do desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1997, p. 103 – 126.
- MORATTI, J. et al. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 23, pp. 55-67, jan/jun 2004.
- MORETTIN, P. A. & TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- MORETTIN, P. A. & TOLOI, C. M. **Modelos para Previsão de Séries Temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2 ed. rev. atual. São Paulo: ABES, 1995. 200f.
- MOURÃO, A.P.C. **Avaliação das condições sanitárias das praias de São Luis - MA, 2005**. Monografia (Graduação em Química Industrial). Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2006.
- NEMETZ, S.M.M.C.C.S. **Balneabilidade de praias do litoral centro-norte de santa Catarina**: estudo de percepção ambiental. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau, 2004.
- NOVAES, R. C.; TAROUÇO, J. E. F.; RANGEL, M. E. S.; DIAS, L. J. B. da S. Análise da sensibilidade ambiental da parte ocidental da Ilha do Maranhão. In: Anais XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianopolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.4089-4096.
- OLIVEIRA, D. R. P. **Qualidade ambiental das praias da Ponta da Areia, Olho d'Água e Araçagy, São Luis-MA, Brasil**. Monografia (Graduação em Ciências Aquáticas). Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2007. 52f.
- OLSEN, S.B. El uso sabio de los recursos costeros en el antropoceno, 2003. Disponível em: <<http://www.ecocostas.org>>. Acesso em; 04 março 2009.
- OTTO, R. et al. **Agenda 21 Brasileira**: bases para a discussão. Brasília DF: MMA/ PNUD, 2000. 196p.
- PIERRI, N.; ÂNGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; KIM, M. K. A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 13, p. 137-167, jan./jun. 2006.
- PINHEIRO, A. **Avaliação e monitoramento da qualidade das águas**. Blumenau: IPA/FURB, 2001.
- PIZZOL, K. M. S. de A. O processo de estruturação urbana no litoral norte da Paraíba e as intervenções no meio ambiente: o caso de Lucena – PB. **Caminhos de Geografia**, v. 6, n. 19, Uberlândia, out/2006, p. 80-89.

- POLIDORI, M. C. **Crescimento urbano e ambiente:** um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- RABELO, L. S. **Indicadores de desenvolvimento sustentável:** uma seqüência metodológica para a mensuração do progresso ao desenvolvimento sustentável. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará, 2007.
- RIBEIRO, C. V. **Métodos para previsão de séries temporais e suas tendências de desenvolvimento.** Monografia (Graduação em Sistemas e computação). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.
- SACHS, I. **Ecodesarrollo. Desarrollo sin destrucción.** México: El Colegio de México, 1982.
- SANTOS, J.H.S. dos. **Levantamento preliminar dos problemas ambientais de uma zona litorânea de São Luís-MA.** DEGEO/ UFMA, 1993.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Macrodiagnóstico do Golfão Maranhense:** diagnóstico ambiental da microregião de aglomeração urbana de São Luis: estudo socioeconômico e cultural. São Luis: SEMA, 1998.
- SECRETARIA DE ESTADO EXTRAORDINÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TURISMO DO MARANHÃO. **Pesquisa de turismo receptivo:** São Luis/MA (Sinopse). São Luis: SEDETUR, 2006.
- SILVA, I.R.; ALENCAR, C.M.M.; MELLO E SILVA, S.B. Caracterização socioambiental das praias do município de Lauro de Freitas – Bahia. **Geografia**, v.30, n.2, mai./ago. 2005.
- SILVA, L. M. T.; GUIMARÃES, M. M. M.; JÁCOME, E. de A.; MARQUES, A. C. N. Uso e ocupação do litoral sul da Paraíba: o caso de Jacarapé. **Revista Cadernos do Logepa – Série Texto Didático**, ano 2, n. 3, jan/jun 2003.
- SIQUEIRA, L. F. S. ; COSTA NETO, J. de J. G.da ; BARBIERE, R. ; ROJAS, M. O. A. I. ; SANTOS, M. V. Diagnóstico socioambiental e avaliação das condições sanitárias da água de praias de São Luis - MA (Brasil), no decênio 1989-2009. In: Anais de Eventos da UFSCAR, v. 5, VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM, São Carlos, 2009.
- SOUZA, J.R.S. **Estudo sobre balneabilidade das praias de São Luis – MA.** Monografia (Graduação em Geografia). Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2003.
- TAROUCO, J.E.F. Levantamento de dados para confecção do Mapa de Sensibilidade Costeiro ao derrame de óleo na região de São Luís – Ma. In: IV **Simpósio Nacional De Geomorfologia**. São Luís, 29 out. a 07 nov. 2002.
- VAN BELLEN, H.M. **Indicadores de sustentabilidade:** uma análise comparativa. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
- VARELA, C.A.S. **Poluição em águas continentais:** alternativas de controle de resíduos líquidos industriais. São Luís: PPPG/EDUFMA, 1987.
- VELDKAMP, A. & LAMBIN, E.F. Predicting land-use change. **Agriculture, ecosystems and environmental**, v. 85, n. 1-3, 2001.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 1.
- WCED - World Commission on Environment and Development. **Our Common Future.** Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.



**ANEXO A - Dados secundários dos níveis de coliformes totais na água (em NMP/100mL) das praias estudadas, da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2007 (Fonte: FUNASA/ MA, 1989; SEMA, 2003, 2005, 2006 e 2007).**

	<b>Ponta da Areia</b>	<b>São Marcos</b>	<b>Calhau</b>	<b>Olho d' Água</b>	<b>Araçagy</b>
	02°30' 15''S; 44°19'06.9''W (P1)	2°29' 15. 40''S; 44°16'25.11''W (SM1)	02°28'56.60''S; 44° 15'5.97''W (CA1)	02°28'43.3''S; 44°13'45.5''W (O1)	02°28'06.3''S; 44°12'18.1''W (A1)
<b>1989<sup>1</sup></b>	2700	35	20	145	20
	2568	19	20	57	20
	2689	32	42	308	42
	2660	30	280	333	280
	2869	27	114	270	114
	2625	18	244	170	244
<b>2003<sup>2</sup></b>	25800	25800	23000	2440	2302
	23040	28600	28600	1560	2398
	20020	28600	28600	2306	2398
	25000	24440	21200	2026	1946
	21620	18880	30000	1666	1780
	23600	25000	24440	1862	2162
	28600	28600	30000	2360	2082
	28600	25800	25000	3000	3000
25350	28830	25350	2535	2583	
<b>2005<sup>2</sup></b>	1600	-	-	-	-
	1600	-	-	-	-
	16000	-	-	-	-
	16000	-	-	-	-
	16000	-	-	-	-
	2400	-	-	-	-
	1600	-	-	-	-
	1600	-	-	-	-
2400	-	-	-	-	
<b>2006<sup>2</sup></b>	1600	-	-	-	-
	16000	-	-	-	-
	2400	-	-	-	-
	1200	-	-	-	-
	1400	-	-	-	-
	4600	-	-	-	-
	1600	-	-	-	-
	1600	-	-	-	-
1400	-	-	-	-	
<b>2007<sup>2</sup></b>	24000	2442	1500	845	491
	4600	2398	2000	744	526
	24000	2860	3000	415	505
	1500	2640	4600	433	498

4600	2444	2000	8115	540
2400	2500	1600	20800	409
1600	3000	1000	1200	487
1600	3000	900	2400	456
24000	2652	1200	2400	449

<sup>1</sup>Nota: Dados de abril a setembro de 1989, obtidos em NMP/ 100mL, por meio da análise de relatórios de qualidade da água de praias da Fundação Nacional de Saúde no Maranhão (FUNASA/MA).

<sup>2</sup>Nota: Dados de março a novembro (2003, 2005, 2006, 2007), obtidos em NMP/ 100 mL, por meio da análise de relatórios de balneabilidade de praias da Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Maranhão (SEMA).

**ANEXO B – Dados secundários referentes à expansão urbana e ao saneamento básico para a zona urbana da Ilha do Maranhão (Brasil), 1989-2009 (Fonte: IBGE).**

Variáveis*	Tempo (anos)			
	1989	2003	2007	2009
<b>População Urbana (habitantes)</b>	246244	877349	973984	998.999
<b>Densidade Populacional (habitantes/ km<sup>2</sup>)</b>	841	1115.4	1176.3	1206.6
<b>Número de domicílios ligados a rede coletora de esgotos</b>	131377	380073	160309	150309
<b>Número de domicílios com fossa séptica</b>	24370	171242	591560	687560
<b>Número de domicílios com formas inadequadas de esgotamento sanitário</b>	78435	284010	185624	160624

\*Nota: Dados obtidos por estimativas por meio da análise de setores censitários, amostragem por domicílio (PNAD) e Censo 2000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

**APENDICE A - Dados primários de níveis de coliformes totais na água (NMP/ 100 mL) das praias estudadas, da Ilha do Maranhão (Brasil), 2009.**

	<b>Pontos georreferenciados</b>	<b>Coliformes totais (NMP/ 100mL)*</b>					
<b>Ponta da Areia</b>	02° 30' 15" S; 44° 19' 06.9" W (P1)	3441	5650	1870	750	2110	6130
	02° 29' 41" S; 44° 18' 28" W (P2)	5200	6200	2000	1000	3000	6240
<b>São Marcos</b>	2° 29' 15.40" S; 44° 16' 25.11" W (SM1)	3282	6440	2010	13540	5040	24890
	02° 29' 7.07" S; 44° 16' 8.52" W (SM2)	4960	6630	4100	1000	13500	13500
<b>Calhau</b>	02° 28' 56.60" S; 44° 15' 5.97" W (CA1)	5748	8820	27230	22240	2920	3150
	02° 28' 52.3" S; 44° 15' 18.5" W (CA2)	5290	8330	22600	18500	2000	8400
<b>Olho d' Água</b>	02° 28' 43.3" S; 44° 13' 45.5" W (O1)	3044	5760	1610	200	2880	3730
	02° 28' 40" S; 44° 13' 54" W (O2)	3050	6300	2000	1000	3100	3100
<b>Araçagy</b>	02° 28' 06.3" S; 44° 12' 18.1" W (A1)	3968	2130	1350	14970	5380	5560
	02° 27' 53.4" S; 44° 11' 51.7" W (A2)	5710	2920	2000	1000	5200	5200

\*Nota: Dados obtidos em NMP/100mL, de abril a outubro de 2009, considerando um dado para cada cinco domingos consecutivos de análise. Análise realizada pelo método cromofluorogênico e pela técnica do substrato definido pelo teste COLILERT/ QUANTI-TRAY, no laboratório de águas da FUNASA/MA.

**APENDICE B - Pontos de lançamentos de esgoto *in natura* nas praias estudadas, da Ilha do Maranhão (Brasil), 2009 (Imagem adaptada do banco de imagens do Google Earth, 2009).**

