

# MODELO NUMÉRICO PREDITIVO PARA CONDIÇÕES DE BALNEABILIDADE DA ÁGUA DA PRAIA DA PONTA DA AREIA, ILHA DO MARANHÃO, BRASIL.

**Laurinda Fernanda Saldanha SIQUEIRA (1); Jonas de Jesus Gomes da COSTA NETO (2);  
Mariano Oscar Anibal IBANEZ ROJAS (3)**

(1) Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses s/n São Luis - MA, e-mail: [lau\\_siqueira@yahoo.com.br](mailto:lau_siqueira@yahoo.com.br)

(2) Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, Av. Getulio Vargas s/n Monte Castelo São Luis - MA, e-mail: [jonasneto@ifma.edu.br](mailto:jonasneto@ifma.edu.br)

(3) Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, Av. Getulio Vargas s/n Monte Castelo São Luis - MA, e-mail: [ibanez@ifma.edu.br](mailto:ibanez@ifma.edu.br)

## RESUMO

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 modelos numéricos preditivos dos níveis de coliformes totais na água das praias da Ponta da Areia, Ilha do Maranhão, Brasil. 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.

**Palavras-chave:** modelos numéricos preditivos, expansão urbana, saneamento básico, coliformes totais na água.

## 1 INTRODUÇÃO

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.

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, teve-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 predição destes comportamentos, pretendendo que ambas sejam subsídios ao gerenciamento integrado de praias da orla marítima da Ilha do Maranhão (Brasil).

No escopo deste trabalho, a partir da análise de séries temporais realiza em pesquisa de Siqueira (2010), teve-se o intuito de estudar a correlação entre níveis de coliformes totais na água da Praia da Ponta da Areia com pressões antrópicas e incorporação em modelos, buscando extrair conhecimento necessário a sustentabilidade e a gestão da área estuda, e torná-lo inteligível aos tomadores de decisão e população.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

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.

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.

## 3 METODOLOGIA

### 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.* Referindo-se à análise bacteriológica (coliformes totais) e de elementos de qualidade de água (parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, condutividade, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez). 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 n°274/ 2000 e n°357/ 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. Os dados primários bem como os dados secundários, foram levantados segundo trechos da Praia da Ponta da Areia que tiveram monitoramento contínuo pelos órgãos responsáveis (P1 = 02° 30' 15" S, 44° 19' 06.9" W ; P2 = 02° 29' 41" S, 44° 18' 28" W).

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 (BARROS, 2007, CORDOVA, 2001 apud BOOLMANN, 2003), 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.

**3.2 Etapa II: *Elaboração e proposição dos modelos numéricos:*** A partir da análise de séries temporais dos níveis de coliformes totais na água feita por Siqueira (2010), procedeu-se 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, uma a uma, duas a duas, e assim por diante, 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, obtidos por Siqueira (2010). 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 praias agregadas nos modelos. Todos os dados obtidos serão tratados com o auxílio de softwares estatísticos de uso comercial.

**3.3 Etapa III: *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. Extraíu-se a média do ano 2009, após normalização dos dados, comparando-a 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.

**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. 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, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

### 4.1 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, em função, da incompletude e da não-continuidade nas séries de dados.

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

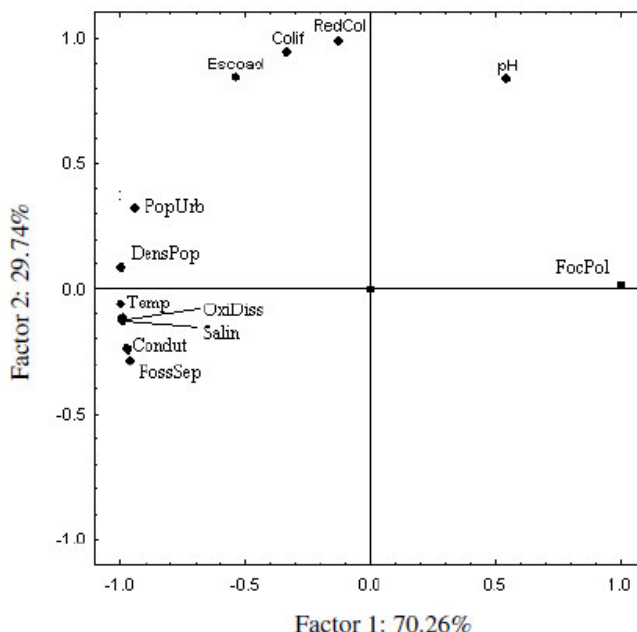
### 4.2 Escolha das variáveis

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 1**), tomando como variável 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% ( $R^2 \geq 0.50$ ).

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 (BOOLMANN, 2003; CETESB, 2004; 2006; DA SILVA, 2006; OLIVEIRA, 2007; GROPPPO, 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.



**FIGURA 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; Conduct: condutividade; FossSep: número de domicílios com fossa séptica).

#### 4.3 Construção e proposição dos modelos numéricos

Como indicado anteriormente pela análise de componentes principais (**Figura 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; (e) 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 (BOOLMANN, 2003; CETESB, 2004; 2006; DA SILVA, 2006; OLIVEIRA, 2007).

Os modelos foram construídos 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 1** 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 remediada, ou pelo menos, pode se tornar mais próxima da realidade, utilizando-se os fatores sazonais normalizados, calculados pelas equações contidas na Tabela 1 e obtidas por Siqueira (2010), multiplicando-os ao respectivo modelo, para o 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.

**TABELA 1 – 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	Modelo numerico <sup>(1)</sup>	Coeficientes	
		( $R$ )	( $R^2$ )
Ponta da Areia	$\text{ColTot} = [ - 4830.906 + (0.128*\text{RedCol}) - (0.027*\text{Esc}) - (128*\text{pH}) - (0.004*\text{PopUrb}) - (128*\text{Foc}) ] * \text{FS}$ $\text{FS}^{(2)} = -246.33x^2 + 911.83x - 717.83$	93.22%	84.71%

(1) 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  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ ; (2)Nota: Siqueira (2010).

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”.

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

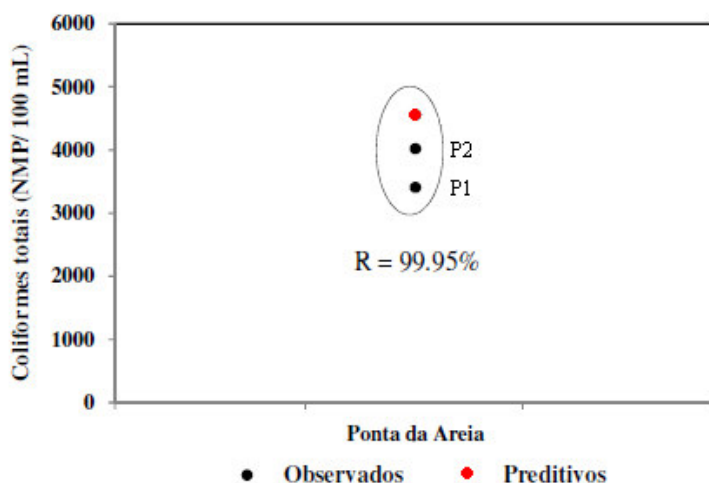
pesquisador e a disponibilidade de dados. Intentou-se, sim, uma construção simples, com utilização de variáveis disponibilizadas por instituições públicas, as quais todos têm ou deveriam ter acesso. Ressalta-se que a extração de informações pela manipulação dos modelos requer criticidade e atenção dos pesquisadores, como será mostrado a seguir.

#### 4.4 Teste e validação dos modelos numéricos

Para testar os modelos, foi feito o acompanhamento dos níveis de coliformes totais na água nos pontos de coleta presentes da metodologia, durante o ano de 2009, como consta no **Apêndice A**. As médias anuais por praia foram extraídas, após normalização dos dados 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) de 99.95% para o modelo proposto para a praia da Ponta da Areia, como mostra a **Figura 2**. 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.



**FIGURA 2 – 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, Ilha do Maranhão (Brasil), 2009 (Onde: R = coeficiente de correlação).**

## 5 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

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.

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 da praia da Ponta da Areia 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.

## 6 REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- 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.
- BUCHANERI, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- MORETTIN, P. A. & TOLOI, C. M. **Modelos para Previsão de Séries Temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.
- 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.
- 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.
- SIQUEIRA, L.F.S. **Séries temporais e modelos numéricos preditivos como ferramentas de auxilio ao gerenciamento costeiro integrado da Ilha do Maranhão, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas), Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2010. 109 f.
- VELDKAMP, A. & LAMBIN, E.F. Predicting land-use change. **Agriculture, ecosystems and environmental**, v. 85, n. 1-3, 2001.