



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologia e Geociências

Departamento de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

**Tendências temporais e espaciais da
balneabilidade das praias do município de
Goiana (Pernambuco)**

Luís Henrique Bezerra Alves

Dissertação de Mestrado

Recife-PE

17 de Fevereiro de 2016

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia

Luís Henrique Bezerra Alves

**Tendências temporais e espaciais da balneabilidade das
praias do município de Goiana (Pernambuco)**

Trabalho apresentado ao Curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Oceanografia.

Orientadora: Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Mário Barletta

Recife-PE

17 de Fevereiro de 2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

A474t Alves, Luís Henrique Bezerra.
Tendências temporais e espaciais da balneabilidade das praias do município de Goiana. / Luís Henrique Bezerra Alves. - 2016.
59 folhas. Il., e Tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Mário Barletta.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2016.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Oceanografia. 2. Balneabilidade. 3. Coliformes termotolerantes. 4. Saúde pública. 5. Modelo binomial. 6. Mudanças climáticas. I. Costa, Monica Ferreira da (Orientador). II. Barletta, Mário (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2016 - 105

LUIS HENRIQUE BEZERRA ALVES

**Tendências temporais e espaciais da balneabilidade das praias do município de
Goiana (Pernambuco)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Dissertação aprovada.

Recife, 17 de Fevereiro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Monica F. Costa
(Orientador/Presidente/Titular Interno - UFPE)

Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleda
(Titular Interno-UFPE)

Prof. Dr. Francisco José de Azevêdo Cysneiros
(Titular Externo-UFPE)

*A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão
próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a
pena.*

Agradecimentos

Agradeço principalmente a minha orientadora Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa e ao meu co-orientador Prof. Dr. Mário Barletta, pela orientação, conversas e suporte que me foi dado ao longo desse mestrado. Além de conselhos e de muitas conversas francas visando sempre a minha melhora no desempenho do trabalho.

Agradeço também ao Prof. Dr. Francisco Cysneiros (Departamento de Estatística-UFPE) que sempre me auxiliou na parte estatística, sempre solícito e disposto a tirar minhas dúvidas e ajudar no que fosse necessário.

Um agradecimento especial a três amigos, Marina Barbosa, José Pedro Martins e José Petrócio Martins, que nos momentos de cansaço e de bloqueio, na redação do documento, conversar com eles era uma "arma" infalível para que eu me distraísse e as ideias voltassem a fluir. A Sara Cavalcanti, que sempre me ajudou, me ouviu e no fim ainda dispôs do seu tempo pra me ajudar com a dissertação.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo desses anos de Departamento, tais como Túlio Silas e Germano Gladston, e tantos outros que foram importantes ao longo dessa jornada.

Aos professores e funcionários que sempre foram solícitos e dispostos a ajudar nas inúmeras vezes que eu precisei.

Agradeço sobre tudo a minha mãe, Maria José, que sempre me apoiou e incentivou a buscar o conhecimento e que agora eu possa retribuir todo esse incentivo e companheirismo com a obtenção do título.

A todos que estiveram comigo desde o início e os que foram "se chegando" ao longo do tempo, meu muito obrigado.

A persistência é o menor caminho ao êxito

—CHARLES CHAPLIN

Resumo

Este trabalho propõe um modelo preditivo para estudar a balneabilidade das praias do município de Goiana (Pernambuco-Brasil). Na criação do banco de dados para o modelo foi utilizado os dados obtido pelo programa de monitoramento de balneabilidade da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) no período de 2001 a 2012. Foram utilizados 3 pontos de amostragem semanal do programa de monitoramento, um na Praia de Carne de Vaca, o segundo na Praia de Ponta de Pedras e o terceiro na Praia de Catuãma. Foram adicionados ao banco de dados valores de temperatura superficial da água do mar, obtidos junto à *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), e precipitação total mensal, obtidos junto à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Os dados foram agrupados segundo as estações seca e chuvosa e por praia, para analisar quais variáveis são mais influentes na balneabilidade dessas praias. Foi utilizado como ferramenta computacional o ambiente R. O modelo proposto é um modelo logístico com a finalidade de estimar a probabilidade de prais em estudo ser imprópria e identificar e explicar a relação de possíveis variáveis explicativas. As implicações da utilização do modelo em monitoramento das praias são muitas em face ao crescimento sócio-econômico recente da região e o conseqüente aumento da população residente. Ainda, o modelo aponta a influência de cada uma das variáveis e permite previsões de acordo com variações observadas no local, estação do ano, índice de precipitação e a temperatura superficial da água do mar.

Palavras-chave: balneabilidade; coliformes termotolerantes; saúde pública; modelo binomial; mudanças climáticas

Abstract

The objective of the work was to develop a model that could explain and predict the probability of beaches being non-compliant to water quality standards for recreational bathing. Three beaches (carne de Vaca; Ponta de Pedras; Catuãma) at the Brazilian Northeast (Goiana Municipality, Pernambuco State) were used as the case study. A binomial model was obtained by using the State Environmental Agency (CPRH) data (MPN thermal tolerant bacteria 100 mL⁻¹) sampled weekly from 2001 to 2012. Water temperature data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and total monthly rainfall from Pernambuco state Climate and Water Agency (APAC). Data were arranged by season (rainy and dry periods) and place, and the model adjusted to include only the variables that did actually influence the probability of the beaches being non-compliant for recreational bathing (rainfall and water temperature). It was applied to R environment. The proposed model is a logistic model that could estimate the probability of those beaches been suitable or unsuitable and identify relations between the variables in the dataset. The model agreed with the observations and was proved to be useful for correctly predicting water quality within a 77% chance. The model has potential implications that could be used for better water quality monitoring strategies and beach management.

Keywords: water quality; thermal tolerant coliforms; public health; binomial model; climatic changes

Lista de Figuras

2.1	Mapa do Município de Goiana com os pontos de monitoramento de balneabilidade realizada pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) nas praias das zonas urbanas costeiras de Carne de Vaca (CV), Ponta de Pedras (PP) e Catuãma (CT), as respectivas áreas construídas em cada distrito e o centro político da cidade de Goiana-PE.	25
2.2	Gráfico normal de probabilidades com envelope do modelo ajustado.	29
3.1	Quantidade das semanas que as praias foram classificadas segundo a balneabilidade (Excelente, Muito boa, Satisfatória e Imprópria) ao longo de cada um dos anos observados nas três praias. E a tendência da precipitação e temperatura ao longo do mesmo período	32
3.2	Relação das variáveis contínuas com a variável resposta e os seus respectivos histogramas.	36
3.3	Variação da probabilidade da praia de Carne de Vaca estar em condições impróprias para o banho com a variação da chuva mensal e da temperatura superficial da água do mar por estação do ano.	40
3.4	Variação da probabilidade da praia de Ponta de Pedras estar em condições impróprias para o banho com a variação da chuva mensal e da temperatura superficial da água do mar por estação do ano.	42
3.5	Variação da probabilidade da praia de Catuãma estar em condições impróprias para o banho com a variação da chuva mensal e da temperatura superficial da água do mar por estação do ano.	44

Lista de Tabelas

2.1 Estimativa do modelo de ajuste para as covariáveis do modelo.	30
3.1 Poder de predição do modelo ao compará-lo com os dados observados.	33
3.2 Descrição das variáveis contínuas por estação do ano.	35

Sumário

1	Introdução	13
1.1	As águas balneares	15
1.2	Justificativa do trabalho	18
2	Materiais e Métodos	21
2.1	Descrição da área de estudo	23
2.2	Elaboração do Modelo	26
2.3	Modelo Binomial	27
3	Resultados e Discussões	31
3.1	Poder de predição	33
3.2	Variáveis categóricas	34
3.3	Variáveis contínuas	35
4	Conclusão	46
	Referências	48
	Apêndice A - Script do ajuste do modelo proposto	55
	Apêndice B - Formula do envelope <i>Normal Q-Q Plot</i>	58

Introdução

A crescente ocupação das áreas costeiras pela população levou ao crescimento desordenado das cidades (VON GLASOW et al., 2013), gerando um grande desenvolvimento social e econômico, mas acarretando também diversos problemas, inclusive ambientais (SEKOVSKI; NEWTON; DENNISON, 2012). Um dos maiores problemas da atualidade nas zonas costeiras é a falta do saneamento básico (sensu IBGE: água, esgoto, lixo e aporte urbano), sobretudo para resíduos líquidos e sólidos de origem doméstica, assim como do aporte urbano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008).

Em áreas urbanas costeiras de algumas partes do mundo, os esgotos ainda são despejados em rios e canais sem qualquer tratamento prévio, esperando-se que o próprio corpo d'água os dilua e degrade, ou transporte até o mar. Esse comportamento, apesar de tecnicamente inaceitável, é tolerado pela população e frequentemente praticado diante da falta de opção mais adequada. Esses efluentes, quando lançados nos corpos d'água naturais por populações de cidades costeiras, são carregados pelos rios para os estuários, que por fim deságuam no mar. Consequentemente, a qualidade da água de todos esses ambientes acaba sendo afetada de diversas maneiras (hipoxia, eutrofização, agentes patogênicos, perda de habitats, serviços ecológicos e biodiversidade). Algumas cidades maiores (1,6 milhão hab.) construíram redes de coleta e estações de tratamento de esgotos e/ou emissários submarinos, para pelo menos parte de seus habitantes, mas esse não foi o caso da maioria das cidades menores (71 mil hab.), pelo menos no Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007; CENTRO DE EXCELÊNCIA PARA O MAR BRASILEIRO, 2012; AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO, 2012). Assim, a falta de um saneamento

básico não só eficiente, mas também universal, é um dos principais fatores responsáveis pela deterioração dos ambientes aquáticos costeiros e suas áreas circunvizinhas (ARAÚJO; COSTA, 2008; CLARK, 2001; LAWS, 1993).

Países desenvolvidos, como Estados Unidos e os países da União Europeia, desenvolveram diretrizes para quantificar e qualificar suas áreas costeiras (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA, 2006; US CONGRESS, 2000). Essas regulamentações levam em consideração não só a qualidade das águas continentais em seus territórios, mas também as águas costeiras e especialmente as águas de contato primário (EFSTRATIOU, 2001; RUSSO, 2002). Para analisar a real qualidade, incluindo-se aí também a balneabilidade, de uma praia é interessante considerar parâmetros físicos, químicos, geológicos, biológicos e o impacto humano (ARAÚJO; COSTA, 2008; COSTA; BARLETTA, 2004; KARYDIS; KITSIOU, 2013). As alterações ambientais geradas pela ocupação humana (local ou no entorno da praia) tendem a ser um dos fatores primordiais na degradação da saúde de um ambiente praial.

Em Pernambuco, os problemas relacionados à falta de saneamento básico, mais especificamente tratamento de esgoto doméstico e da drenagem continental, são facilmente perceptíveis em corpos d'água costeiros (NORIEGA; ARAÚJO, 2011). Os principais rios do estado frequentemente servem de destino final para os efluentes líquidos gerados pela população, e em alguns casos por indústrias – como a sucroalcooleira. Mesmo as águas fluviais sendo usadas no abastecimento humano, em plantações e criações de animais, elas muitas vezes estão enriquecidas por nutrientes, contaminadas por patógenos, com carga de matéria orgânica aumentada e poluídas por produtos químicos (COSTA et al., 2004; AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO, 2011, 2012).

1.1 As águas balneares

A água que chega ao litoral, proveniente das bacias hidrográficas e do aporte continental (urbano e rural), invariavelmente encontra-se contaminada por diversos poluentes provenientes dos usos descontrolados da população (AURELIANO, 2000; BAPTISTA-NETO; WALLNER-KERSANACH; PATCHINEELAM, 2008). O indicador desta condição de águas, determinada em regulação nacional (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2000), com contaminação fecal recente (24 horas) é a medida de coliformes fecais termotolerantes, *Escherichia coli* ou os enterococos. Cada um desses parâmetros apresenta limites distintos e bem determinados na lei (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2000).

Balneabilidade é a medida das condições sanitárias das águas destinadas à recreação de contato primário (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2000), ou seja, as águas onde se tomam banhos. Essa medida é importante não somente para a população, como para todo o ambiente e sua biota. Podem-se incluir na categoria de águas balneares todo corpo d'água natural ou construído, de águas doces, salobras ou salinas os quais sejam destinados à recreação.

O método de análise mais frequentemente utilizado é a determinação do Número Mais Provável (NMP 100 mL⁻¹) de coliformes fecais termotolerantes pela Técnica dos Tubos Múltiplos, descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (COSTA; LEITAO; SANTOS, 2004). O NMP é a estimativa da densidade de bactérias em uma amostra, calculada a partir da combinação de resultados positivos e negativos, obtidos mediante a técnica dos tubos múltiplos. Para avaliar as condições sanitárias de um corpo d'água, utilizam-se bactérias do grupo coliforme, que atuam como indicadores de poluição fecal, pois ocorrem em grande número na flora intestinal humana e de animais homeotérmicos, sendo eliminadas em grande quantidade juntamente as fezes. Neste grupo estão incluídos todos os bacilos aeróbios facultativos, gram-negativos, não esporulados, que fermentam a lactose com produção de gás

dentro de 48 horas a 35°C. Sua presença na água indica contaminação fecal, com o risco potencial da presença de outros organismos patogênicos como vírus, outras bactérias, vermes, protozoários, cistos etc. (CLARK, 2001; COSTA; LEITAO; SANTOS, 2004; LAWS, 1993; POND, 2006).

Essa análise indica se as águas naturais se encontram em condições (própria ou imprópria) para diversos usos diretos ou indiretos. A maioria das praias do mundo, e no Brasil, possuem algum programa de monitoramento dessa qualidade. A classificação das praias nas categorias PRÓPRIA e IMPRÓPRIA inicialmente foi proposta em 1986 por uma Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N°. 20, seguindo o padrão mundial da Organização Mundial de Saúde (OMS), que definiu originalmente os padrões de qualidade da água destinada a balneabilidade, ou seja, à recreação de contato primário, onde existe a grande possibilidade de ingestão de quantidades consideráveis de água, além do contato com a pele CONAMA 1986. Com o passar dos anos, essa resolução foi mudando, se aperfeiçoando, e assimilando novos parâmetros e pontos pertinentes para melhor avaliar os corpos d'água (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2000, 2005, 2008). Uma das evoluções da legislação foi, por exemplo, a inclusão dos estreptococos como uma segunda classe de bioindicadores fecais para a melhor caracterização da origem da contaminação do corpo d'água (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Nacionalmente, apesar de haver monitoramento de praias na maioria dos 17 estados costeiros, esse tema ainda não é explorado com profundidade e escala espacial pela pesquisa social ou ambiental, com os dados permanecendo no domínio das agências ambientais estaduais e dos serviços públicos e privados que os geram. Toda a costa brasileira é composta por praias inteiramente públicas, sendo algumas delas geridas por empresas terceirizadas (Bandeira Azul e Econoronha). Alguns trabalhos, no entanto se destacam ao darem tratamento e outros usos às informações geradas nos monitoramentos de qualidade de água das praias (CORDEIRO; COSTA, 2010; MORESCO et al., 2012; TEODORO et al., 2010; VALENÇA; SANTOS, 2012;

FONTENELLE; NETO; FONSECA, 2015; MOROSINE; RAMALHO, 2015).

Estudos específicos da balneabilidade das praias tratam de diversos aspectos relacionados ao tema como, por exemplo, os métodos de medida dos bioindicadores (ARAÚJO; COSTA, 2008), tratamento de séries de dados (HORSTMAN et al., 2009), fatores ecológicos que determinam a qualidade de água (JAMES, 2000), uso das praias (MCLACHLAN et al., 2013), a legislação pertinente em cada local estudado (RUSSO, 2002), ou as relações entre a qualidade da água e a economia local (ARIZA et al., 2012). Esses estudos se concentram em alguns locais do mundo, como Hong Kong (YUNG et al., 2001), países da União Européia (EFSTRATIOU, 2001; HORSTMAN et al., 2009), leste da Austrália (JAMES, 2000) e no estado da Califórnia (EUA) (GRIFFITH et al., 2010; NEUMANN; HARDING; SHERMAN, 2006; TSENG; JIANG, 2012).

No Brasil, alguns trabalhos foram desenvolvidos a fim de elaborar modelos de qualidade para ambientes balneares, sobretudo praias, integrando fatores além dos observados pelas agências ambientais (ARAÚJO; COSTA, 2008; SILVA; TAGLIANI, 2012) como serviços públicos e outras intervenções antrópicas. A utilização de observação de coliformes termotolerantes como indicador de balneabilidade das praias também foi avaliada (LAMPARELLI et al., 2015). Existem alguns trabalhos pontuais ao longo do litoral brasileiro que estudam as contaminações de coliformes fecais (ZANOLI SATO et al., 2005; SANCHEZ; AGUDO; CASTRO, 1986; PINTO et al., 2012).

O Brasil possui 17 estados costeiros e a responsabilidade de monitorar a balneabilidade de praias é de seus respectivos órgãos ambientais estaduais. Existem trabalhos relacionando a contaminação das praias com as prováveis fontes de contaminação (PEREIRA et al., 2015; DAVINO; MELO; CAFFARO FILHO, 2015). A maioria dos estudos é de análises bacteriológicas das praias, desde a água e o sedimento, através de coliformes fecais (DE SOUSA; PEREIRA; DA COSTA, 2013; ARAUJO et al., 1991; PINTO et al., 2012; SANCHEZ; AGUDO; CASTRO, 1986; SILVA et al., 2011; ZANOLI SATO et al., 2005). Estudos de dinâmica da praia

com a presença de emissários presentes nas regiões costeiras de importantes praias turísticas (CARVALHO et al., 2013; ROLDÃO; CARVALHO; ROBERTS, 2001). Existem ainda trabalhos sobre as condições balneabilidade em águas interiores como, por exemplo, em represas destinadas a geração de energia que passaram a ser usadas também para o lazer (SHENG et al., 2012).

A Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) é a responsável por monitorar as praias ao longo de todo o litoral pernambucano, inclusive no município de Goiana. Esse monitoramento faz parte de uma estratégia estadual para a garantia da segurança do banho de mar para a população local e visitante. O programa de monitoramento da qualidade das praias do litoral de Pernambuco foi iniciado em 1974, quando algumas campanhas de amostragem eram realizadas na Região Metropolitana do Recife, em determinados períodos do ano, principalmente no verão. Em 1986, foi instituído um programa sistemático de avaliação de todo o litoral pernambucano com quarenta e seis pontos de amostragem, com frequência de coleta semanal. A seleção das praias e os pontos de amostragem monitorados são escolhidos em função da frequência de público. Hoje esse monitoramento é de responsabilidade da CPRH, que apenas emite resultados (boletins) sem maiores estudos ou interpretações. A análise da balneabilidade das praias de Goiana-PE realizadas pela CPRH ainda não leva em consideração um estudo da qualidade microbiológica da faixa de areia praias por análise das comunidades biológicas (MCLACHLAN et al., 2013) ou características ecológicas do ambiente (JAMES, 2000) para um gerenciamento integrado.

1.2 Justificativa do trabalho

Todo esse processo de desenvolvimento regional causará diversos e maiores impactos na região, que já apresenta normalmente um aumento significativo no fluxo de turistas e visitantes nas férias de verão e feriados prolongados. Mudanças nas relações de uso da água superficial

e subsuperficial devem ocorrer para suprir essa demanda, tanto da população quanto das novas empresas e indústrias (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008).

Novos moradores demandarão não só mais recursos naturais e serviços, mas também mais opções de lazer e em se tratando de uma cidade costeira, as praias devem ocupar um lugar de destaque na lista de prioridades. A qualidade das águas balneares é um fator conhecido mundialmente como determinante dos padrões de uso de praias (ARAÚJO; COSTA, 2008; EFS-TRATIOU, 2001; INSTITUTO AMBIENTAL RATONES, 2010; PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA, 2006; RUSSO, 2002; WILLIAMS; MICALLEF, 2009). A qualidade da praia é percebida pela população em geral, sobretudo através da qualidade da água (ARIZA et al., 2012).

A evolução socioeconômica em andamento na ZMN-PE deve se refletir no estado vizinho da Paraíba. As praias de Goiana são justamente as últimas antes do início do trecho de litoral do estado da Paraíba. Até onde se sabe, a Paraíba não realiza monitoramento contínuo da qualidade da água de todas as suas praias, apesar de assim como Goiana, estarem sob a influencia do mesmo rio (MOROSINE; RAMALHO, 2015). Esses novos valores socioambientais que se prevê cobrados pelos usuários das praias de Pernambuco deverão também ser exigidos em praias como Acaú e Pitimbú, por se situarem bem próximas e serem de fácil acesso aos novos moradores e visitantes.

No entanto, pouco se conhece das tendências temporais da qualidade da água dessas praias mais próximas. Também se espera que essa população, com melhor poder aquisitivo e provavelmente maior esclarecimento e consciência ambiental, venha a exigir do poder público praias com boas condições de balneabilidade. Sendo assim, conhecer os padrões temporais e espaciais da qualidade da água, poderá ajudar no planejamento de ações que, caso a qualidade seja boa, poderá mantê-la e, caso ela não seja suficiente, melhorá-la ou preparar ações a fim de realizar uma manutenção, recuperando ou mantendo as condições da praia (HORSTMAN et al., 2009).

Além de que a balneabilidade é de suma importância para a saúde pública (DAVINO; MELO; CAFFARO FILHO, 2015). A qualidade das praias afeta diretamente a população, sendo responsável por doenças e mal-estar e acabam afetando também a economia do local (uso de veraneio e turismo). Esse cuidado ocorre em relação às grandes cidades que recebem um número grande de visitantes por dia, mas não tem a mesma atenção quando observado pequenos balneários.

Acredita-se que as variações ambientais possam alterar as condições de balneabilidade das praias. O objetivo do trabalho é identificar quais variáveis ambientais que mais influenciam a probabilidade das praias do município de Goiana estar impróprias para banho e, através de um modelo, estudar a forma e intensidade desse impacto ao longo de uma década. E também, fazer previsões de como a balneabilidade das praias se comportará a partir das mudanças de variáveis ambientais (temperatura da água do mar e de precipitação).

Materiais e Métodos

Órgãos governamentais têm como principal importância desempenhar funções sempre visando o bem-estar da população. Suas decisões, baseadas em dados e análises estatísticas, muitas vezes restringem esses números ao seu campo de ação, não sendo explorados de maneira a satisfazer outras perguntas. Ou seja, dados são coletados para responder uma pergunta, muitas vezes imediata e então são armazenados. Quando esses dados se tornam acessíveis eles tem uma grande utilidade para a comunidade científica podendo, muitas vezes, apresentar uma grande riqueza temporal e espacial. Além de auxiliar os tomadores de decisão, essa informação pode auxiliar a população em uma questão tão sensível e voltada a saúde pública. Em áreas como economia (BATISTA; DA SILVA, 2009) e saúde (EL-SHAARAWI, 1985; ABREU, 2007; BENJAMIN et al., 2013), por exemplo, dados são gerados diariamente com grande potencial para embasar e desenvolver novas áreas de pesquisas. Atualmente muitos desses enfoques se encontram voltados para a questão ambiental.

Na área ambiental, coletas de dados são essenciais para entender o funcionamento de um local e conhecê-lo (MATHEW et al., 2011). A coleta e análise de dados continuamente em uma determinada área é imprescindível para o desenvolvimento de um estudo temporal, assim possibilitando analisar as transformações que ocorrem no local (MCKENNA et al., 2007; EISWERTH; KASHIAN; SKIDMORE, 2008). Dados temporais são interessantes para se perceber padrões nos corpos hídricos e assim inferir sobre os atores que agem na manutenção da qualidade dos mesmos (COTTER, 1985; SMITH; TANG, 2003; MATHEW et al., 2011). Também são utilizados dados de qualidade por análise biológica, desde microalgas (SHENG et al., 2012), bactérias (MAUL; EL-SHAARAWI; BLOCK, 1985) e outros (BEATY JR. et al.,

2000; BENJAMIN et al., 2013). Em relação à qualidade das praias, ambiente com valores econômicos e sociais, estudos visando a balneabilidade recebem um enfoque especial. Regulações tendem a existir visando a manutenção do ambiente para que não afete a saúde humana (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986; RUSSO, 2002; PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA, 2006). Existem trabalhos que utilizam das bactérias indicadoras da balneabilidade e como as mesmas se comportam em ambientes naturais (CHRISTIAN; PIPES, 1983; ALVES; COSTA, 2014). Algumas técnicas estão sendo aplicadas a fim de entender o comportamento e tendências nesses ambientes.

A introdução da estatística é algo notório para entender os padrões ambientais (SMITH; TANG, 2003; ALVES; COSTA, 2014). Desde análises temporais (MCKENNA et al., 2007; ALVES; COSTA, 2014) até criações de modelos (ZHU; EL-SHAARAWI, 2009; MADHUBANI; SOORIYARACHCHI, 2013), técnicas tem sido desenvolvidas e aplicadas com o objetivo de tentar entender as variações ambientais. Essas técnicas têm sido bem aceitas pela comunidade científica e amplamente utilizadas (CHRISTIAN; PIPES, 1983; LOFTIS; IYER; BAKER, 1999; DUAN; SMITH; YE, 2006; ZHU; EL-SHAARAWI, 2009). Na área de modelagem, existem três famílias mais comuns para explicar dados ambientais: Família *Gamma* (HANLEY; BELL; ALVAREZ-FARIZO, 2003), Família *Poisson* (LOFTIS; IYER; BAKER, 1999) e Família Binomial (COTTER, 1985; DUAN; SMITH; YE, 2006).

Na Família Binomial, que trabalha com categorias, existem alguns trabalhos envolvidos na qualidade de água (ZHU; EL-SHAARAWI, 2009; ENDO et al., 2012; COSTA; LOPES; SINGER, 2015) e também modelos desenvolvidos com o enfoque em balneabilidade (ROLFE; GREGG, 2012).

2.1 Descrição da área de estudo

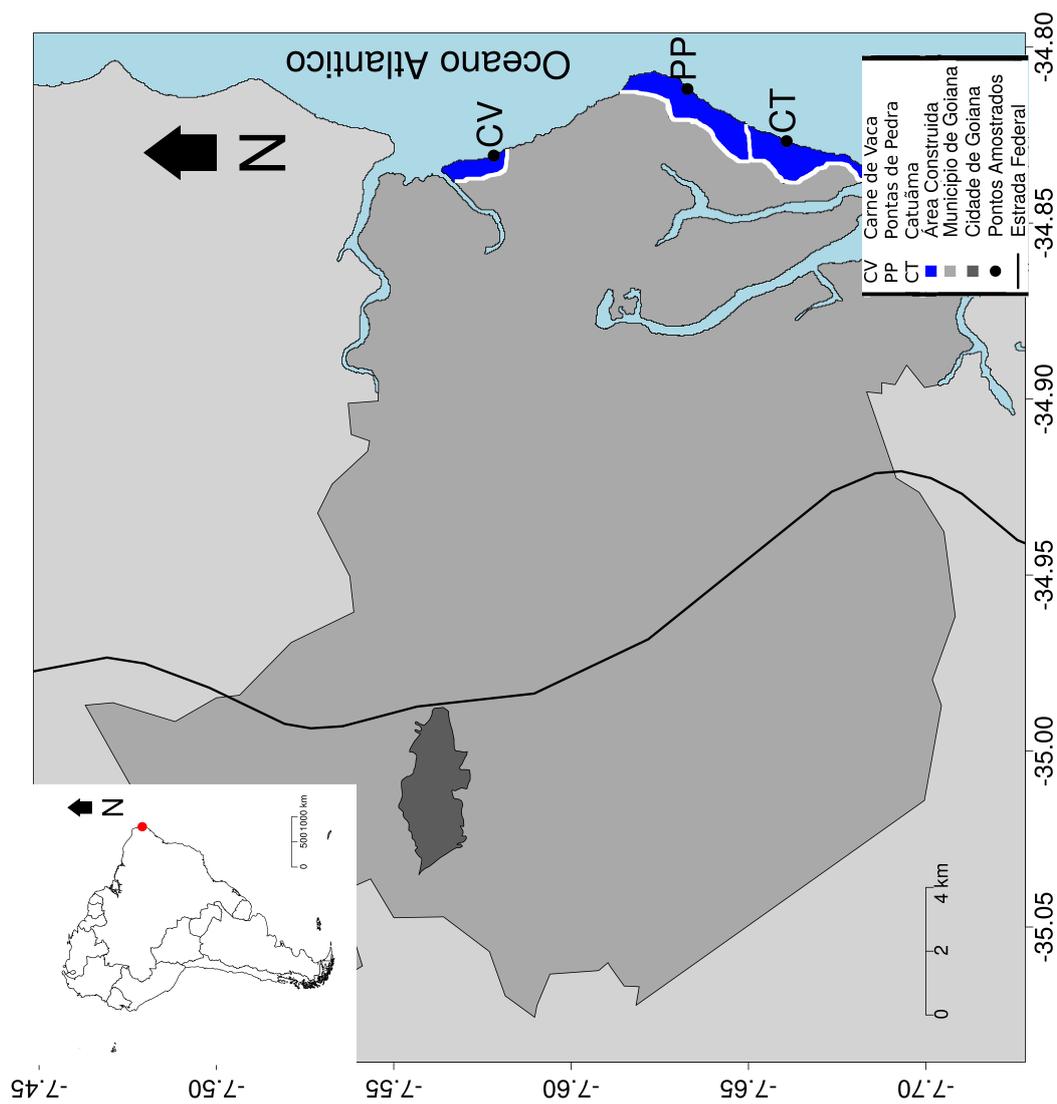
Desde a década de 2000, a Zona da Mata Norte Pernambucana (ZMN-PE) vem se transformando rapidamente de predominantemente agrícola/agroindustrial para uma socioeconomia voltada para a produção industrial e os serviços. A secular cultura da cana-de-açúcar, que dominou a economia e as relações sociais no nordeste do Brasil por mais de 400 anos, já não é mais o investimento de maior interesse dos setores produtivos público ou privado. Apesar de sua importância ainda ser grande, outras atividades econômicas se estabelecem baseadas na indústria de transformação, de bens de consumo e serviços. Dentre os municípios de destaque econômico e social da ZMN-PE e parte da Região Metropolitana do Recife estão Goiana e Igarassu, com as maiores arrecadações advindas de polos industriais e das maiores cidades da região. Instalaram-se no município de Goiana uma montadora de automóveis, um polo vidreiro e um polo fármaco-químico, e indústrias de alimentos influenciando assim um aumento demográfico na região e a mudança no perfil de seus habitantes.

Com base nos dados do Censo 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), a população de Goiana é de 75.000 habitantes residentes, dispostos sobretudo em áreas urbanas distribuídas em um território de 445,81 km². A cidade é considerada um Centro de Zona A, por ter uma ação de influência a uma cidade vizinha: Condado (AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO, 2012). A densidade populacional em Goiana é de 150,72 hab km⁻². Essa baixa densidade está relacionado ao fato da população estar concentrada numa pequena área de 114 km², aproximadamente (Figura 2.1) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Ou seja, cerca de 25 % do território está ocupado pela população. Devido aos novos empreendimentos estruturantes citados acima, em 2014, o Governo do Estado de Pernambuco estimou que a população deste município já extrapolasse as estimativas propostas pelo IBGE de 78.000 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014; COUTINHO,

2014), o que também deve ter ocorrido nos municípios vizinhos (inclusive na Paraíba), que se beneficiam dos novos investimentos nucleados em Goiana.

A praia de Carne de Vaca (CV) pertence ao distrito mais próximo ao estuário. É um distrito com poucos residentes. A maioria dos imóveis é usada no verão e em feriados. Já a praia de Pontas de Pedra (PP), localizado a 8 km ao sul de Carne de Vaca, é um distrito bem mais povoado e com a maioria de residentes contínuos. Apresentando uma quantidade bem menor de residências de usos de veraneio. O distrito de Catuãma (CT), à 15 km de Carne de Vaca, possui as mesmas características de moradia que Carne de Vaca. A maioria das moradias é utilizada em feriados e no verão. Em nenhum dos três distritos possuem um sistema eficiente de saneamento básico e o esgoto se não lançado em pequenos canais são armazenados em fossas sépticas.

Figura 2.1 Mapa do Município de Goiana com os pontos de monitoramento de balneabilidade realizada pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) nas praias das zonas urbanas costeiras de Carne de Vaca (CV), Ponta de Pedras (PP) e Catuãma (CT), as respectivas áreas construídas em cada distrito e o centro político da cidade de Goiana-PE.



2.2 Elaboração do Modelo

Para a elaboração do modelo pretendido, foi necessário adicionar variáveis ambientais ao banco de dados da CPRH e fazer alguns agrupamentos. Os dados de Coliformes termotolerantes, de 2001 à 2012 foram classificados por mês. Cada uma das três praias também foram categorizadas e indicadas como a variável *Place*. E também foi criada uma variável categórica de estação (variável *Season*), segundo os índices de pluviometria (BARLETTA; COSTA, 2009), onde compreende a separação do ano em 2 categorias: Chuva e Seca. E com base nas estações, os anos foram distribuídos para começar na estação chuvosa e possuir duas por ano, assim caracterizando 13 categorias de anos. Foram adicionados dados de precipitação total mensal (*Rainfall*) obtidos para livre consulta pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e a temperatura superficial da água do mar (*Temp*), disponibilizados no site da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica-EUA (NOAA). Assim, o modelo passou a contar com uma variável resposta (*Coliformes Termotolerantes*) e cinco potenciais variáveis explicativas, sendo 3 categóricas (*Ano*, *Season* e *Place*) e 2 contínuas (*Rainfall* e *Temp*).

Para as análises estatísticas, foi utilizado o software livre R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). Cada uma das variáveis organizadas e as categóricas foram identificadas para o R (Apêndice A), para que não houvesse erros na interpretação dos dados pelo programa.

As praias foram classificados como Própria, quando apresentam valores de coliformes termotolerantes menores que $1000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, e Imprópria, se igual ou maior que $1000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. A variável *Coliformes termotolerantes* assume o valor 1 se a praia foi imprópria e 0 se a praia for própria.

2.3 Modelo Binomial

O resultado do modelo binomial pode ser unicamente de dois valores, 0 e 1 (Equação 2.1) (PAULA, 2013). O resultado de 0 indica ausência ou, para o modelo proposto, água própria, e 1 indica presença ou água imprópria para os dados de balneabilidade.

Seja $Y_{i_{jkl}}$,

$$Y_{i_{jk}} = \begin{cases} 1 & , \text{ se } qq \geq 1000 \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$Y_{i_{jk}} = Be(\pi_{i_{jkl}}) \quad (2.2)$$

No ano i , estação j e lugar k em que supomos que a variável resposta tem distribuição Bernoulli, $Y_{i_{jk}} \sim Be(\pi_{i_{jk}})$ (Equação 2.2).

Onde:

Be: Bernoulli

Em que $\pi_{i_{jk}}$ é a probabilidade de a praia ser imprópria no i -ésimo ano, na j -ésima estação e no k -ésimo lugar.

O modelo final que foi elaborado com os efeitos aditivos:

$$\log \left(\frac{\pi_{i_{jk}}}{1 - \pi_{i_{jk}}} \right) = \sum_{i=1}^{13} \theta_i \text{Ano} + \sum_{j=1}^2 \alpha_j \text{Season} + \sum_{k=1}^3 \gamma_k \text{Place} + \beta_1 \text{Rainfall}_{i_{jk}} + \beta_2 \text{Temp}_{i_{jk}} \quad (2.3)$$

Onde:

$$\theta_1 = 0$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\gamma_1 = 0$$

Para selecionar as variáveis para o modelo utilizamos o método de seleção de variáveis *stepwise*, baseado no critério de Akaike, AIC (Akaike, 1972), o modelo escolhido (Equação 2.3) obteve o menor valor, sendo o mesmo de 1255.

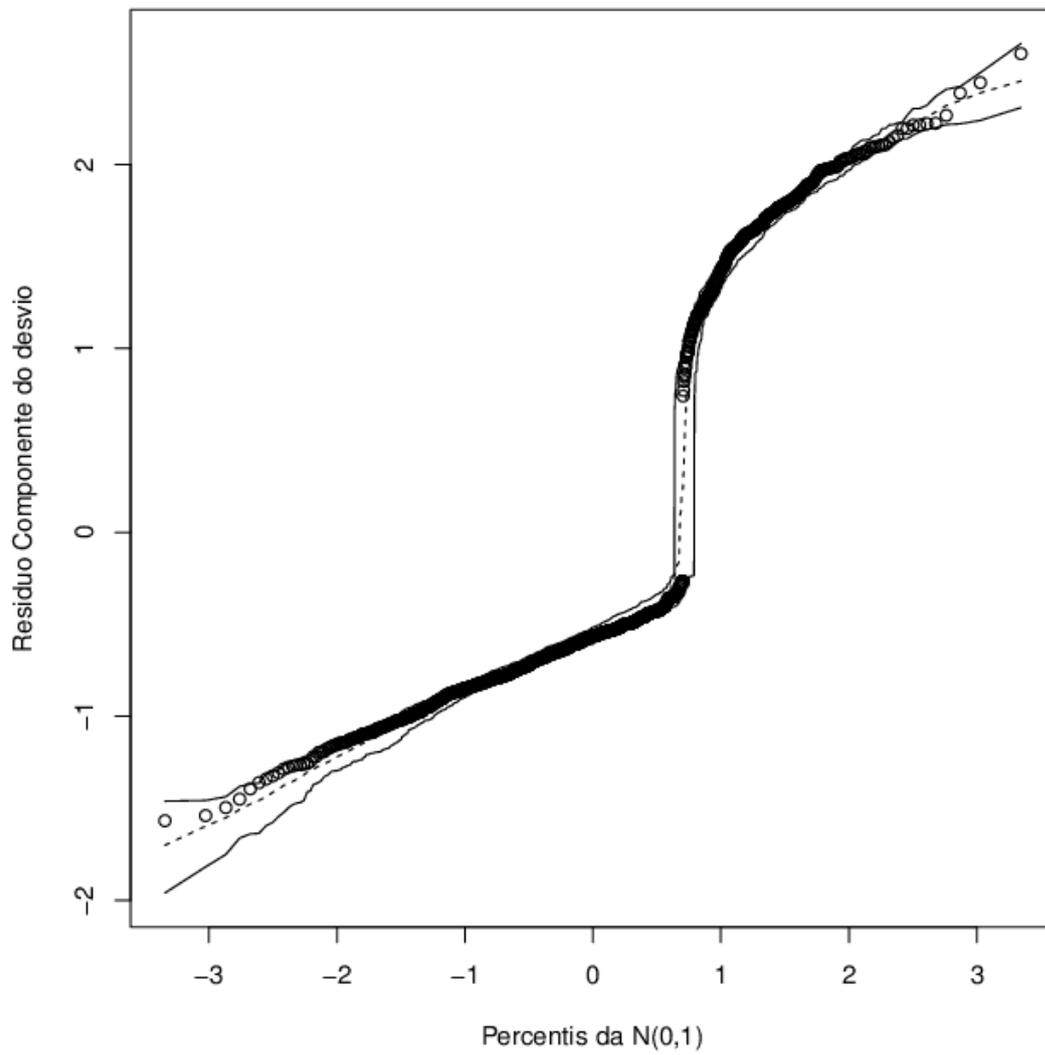
Nas análises para adequação do modelo, foi percebido que as variáveis Month e ENSO foram retiradas por não serem significativas ao modelo.

O teste de bondade de ajuste apresentou um ajuste com desvio 1218,9 e com 1195 graus de liberdade (p-valor de 0,467) indicando que o modelo é adequado. Além disso, o gráfico Normal quantil-quantil (Figura 2.2) de probabilidades com envelope não mostra comportamento não usual, sendo assim colaborando com a indicação que o modelo é adequado para modelar os dados (CYSNEIROS, 2004).

Ao analisar a significância de cada uma das variáveis para o modelo (Tabela 2.1), percebe-se que todas são significativas a pelo menos 5% de significância.

O modelo binomial se adequou bem aos dados disponíveis e através dele é possível explicá-los. Com a análise das variáveis (individualmente), pode-se perceber que elas respondem ao esperado para a distribuição de coliformes termotolerantes. Ou seja, o modelo explicativo para a distribuição dos coliformes termotolerantes nas praias de Goiana-PE foi satisfatório tanto matematicamente, quanto ecologicamente.

Figura 2.2 Gráfico normal de probabilidades com envelope do modelo ajustado.



Fonte: O Autor

Tabela 2.1 Estimativa do modelo de ajuste para as covariáveis do modelo.

Coeficientes:

Variável	Estimativa	Erro Padrão	valor z	Pr(> z)	
Ano1	-12,529138	3,193265	-3,924	8,72e-05	***
Ano2	-12,331088	3,268896	-3,772	0,000162	***
Ano3	-12,242158	3,203579	-3,821	0,000133	***
Ano4	-11,880716	3,245501	-3,661	0,000252	***
Ano5	-11,847368	3,248757	-3,647	0,000266	***
Ano6	-12,554836	3,208059	-3,914	9,10e-05	***
Ano7	-12,004785	3,021280	-3,973	7,09e-05	***
Ano8	-11,368985	3,121802	-3,642	0,000271	***
Ano9	-11,123857	3,196724	-3,480	0,000502	***
Ano10	-12,220088	3,272053	-3,735	0,000188	***
Ano11	-11,800053	3,124031	-3,777	0,000159	***
Ano12	-11,759014	3,184373	-3,693	0,000222	***
Ano13	-10,547430	3,164089	-3,333	0,000858	***
Season2	0,535804	0,185054	2,895	0,003787	**
Place2	1,000183	0,187116	5,345	9,03e-08	***
Place3	0,416909	0,192102	2,170	0,029988	*
Rainfall	0,003227	0,001391	2,320	0,020349	*
Temp	0,359009	0,119407	3,007	0,002642	**

Código de significância: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
Com desvio de 1218,9 e 1195 graus de liberdade

Resultados e Discussões

As planilhas disponibilizadas pela CPRH com o NMP 100mL^{-1} por semana para CV, PP e CT nos anos de 2001 a 2012, indicaram que, no geral, pelo menos uma dessas praias estiver imprópria em 56% das 590 semanas amostradas. A praia mais comprometida foi PP, com 27% das semanas na categoria imprópria (Figura 3.1).

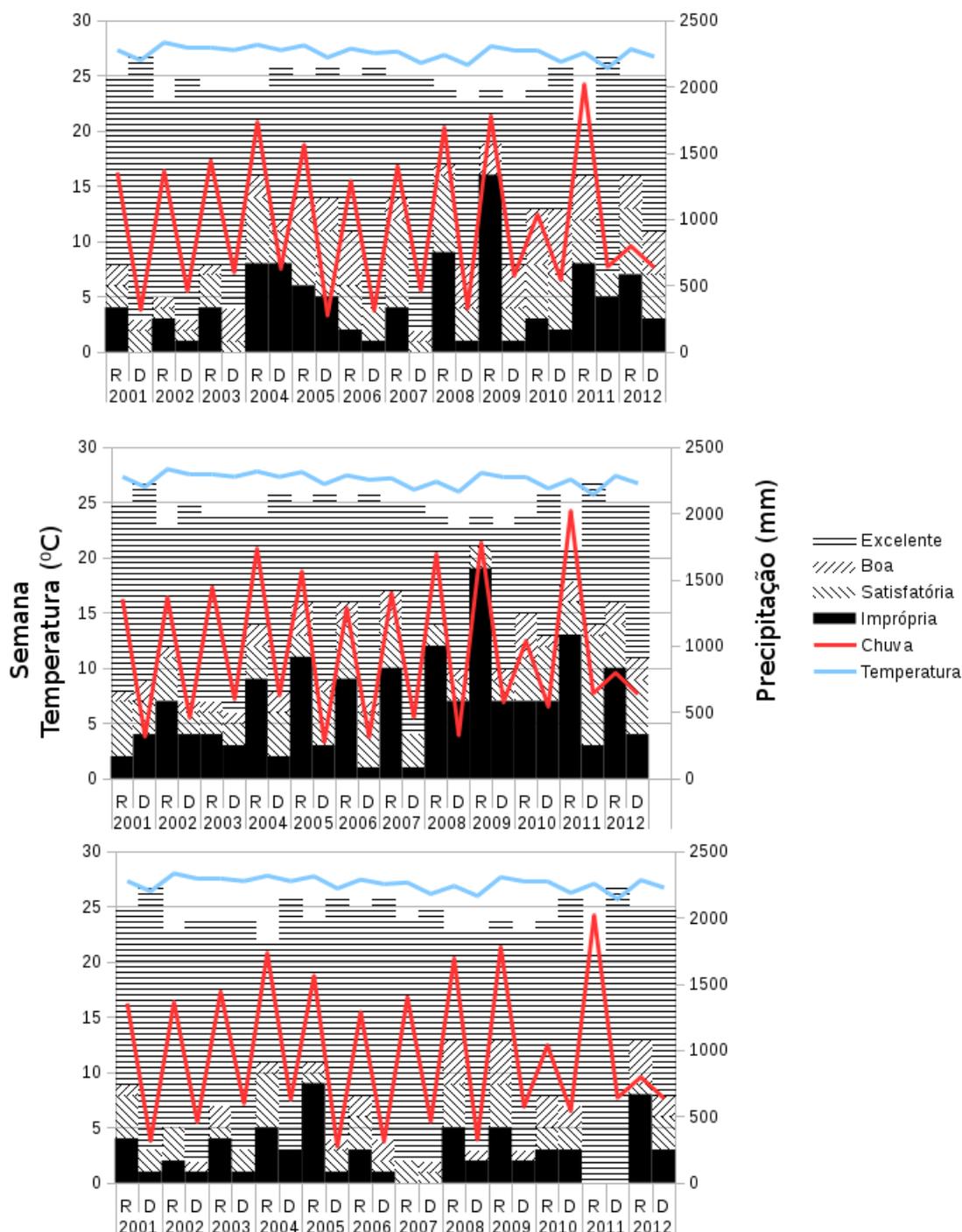
Um padrão que foi observado em todas as praias ao longo de todos os anos, com exceção do ano de 2001 em Ponta de Pedras, foi que a quantidade de observações de praia imprópria sempre foi maior na estação chuvosa do que na estação seca dentro de um mesmo ano (Figura 3.1). A quantidade de semanas excelentes, ao compara as estações, tende a ser maior durante as estações secas do que nas estações chuvosas (Figura 3.1).

Em relação a precipitação é observado que nas estações chuvosas o acumulo do período é maior do que na estação seca, sendo que nos anos de 2010 e 2012 essa diferença entre as estações apresentaram as menores variações (Figura 3.1).

Ao analisarmos o modelo ajustado, podemos notar o comportamento de cada uma das variáveis contínuas. Percebe-se também que ao longo dos anos, houve padrões distintos de comportamento da variável resposta. A relação das variações ao longo desses anos com a estação do ano, o local e as variações de temperatura indicam a probabilidade de a praia estar ou não própria para o banho.

O modelo propõe que cada covariável tem sua parcela de influência nas condições de balneabilidade das praias de Goiana. Para melhor entender a influência de cada covariável é necessário fixar as covariadas e permitir que apenas uma varie, assim se pode observar a relação da mesma com variações naturais que possam ocorrer no ambiente e como isso influenciará as

Figura 3.1 Quantidade das semanas que as praias foram classificadas segundo a balneabilidade (Excelente, Muito boa, Satisfatória e Imprópria) ao longo de cada um dos anos observados nas três praias. E a tendência da precipitação e temperatura ao longo do mesmo período



condições do ambiente.

Assumindo que todas as variáveis são fixas e alterando apenas uma das variáveis é possível quantificar matematicamente o aumento da chance da praia se tornar imprópria devido a uma única variável. Essas variações ocorrem apenas com as covariadas contínuas (Precipitação total mensal e Temperatura superficial da água). Foram realizadas simulações para entender a variação da chuva e da temperatura seguindo variações possíveis na região e assim observar a tendência da balneabilidade das praias com relação às variações de ambas.

3.1 Poder de predição

Utilizando os resultados obtidos pelo modelo, foi realizado um cruzamento com os valores observados em relação às respostas próprias e impróprias para as três praias. Com essa comparação é possível perceber como o modelo avalia a praia pelas características físicas e comparar com os valores observados (SILVA, 2008).

O poder de predição do modelo foi de aproximadamente 98% de predição correta para identificar quando a praia está própria para o banho e de 10% de acerto quando a praia se encontra imprópria. Ou seja, o modelo possui alto poder preditivo para identificar que a praia está própria, provavelmente vinculado ao alto número de informações nessa situação (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Poder de predição do modelo ao compará-lo com os dados observados.

Resultado Do modelo de classificação	Real	
	Positivo (Impróprio)	Negativo(Próprio)
Positivo	10%	2%
Negativo	90%	98%

3.2 Variáveis categóricas

As variáveis categóricas foram quantificadas utilizando o valor estimado pelo modelo. Como a chance de ser imprópria é uma função logarítmica, a influência da variável sobre a condição de balneabilidade é baseado numa função exponencial.

Em relação às variáveis categóricas, foi observada a influência de cada uma em relação ao comportamento da balneabilidade. Fixada as demais variáveis, observa-se que a estação chuvosa possui cerca de 70% a mais de chances de imprópria que a estação seca. Em relação às praias, a PP tem 72% de chances de estar imprópria que CV e CT, cerca de 51% a mais que CV.

Através dessa análise é possível perceber se que estando na estação seca imprópria, na estação chuvosa também estará. E que se na seca estiver própria, a estação chuvosa tem apenas 30% de chances de estar própria também. Em relação às praias, elas são comparadas a CV. Onde PP tem uma probabilidade maior que CT de ser encontrada em situação imprópria para o banho (independente da estação do ano).

Em relação às variáveis categóricas é possível perceber que a estação chuvosa e a praia de Ponta de Pedras são o período e local, respectivamente, onde a qualidade da água tende a ser pior. A Praia de Catuãma possui características semelhantes às de Carne de Vaca, em relação à qualidade, mesmo estando, geograficamente, em pontos extremos. Isso pode ter relação com a forma de uso, já que Ponta de Pedras é um distrito com muito mais pessoas residentes e mais urbanização do que Carne de Vaca e Catuãma, sendo essas duas com mais presença de casas de veraneio.

3.3 Variáveis contínuas

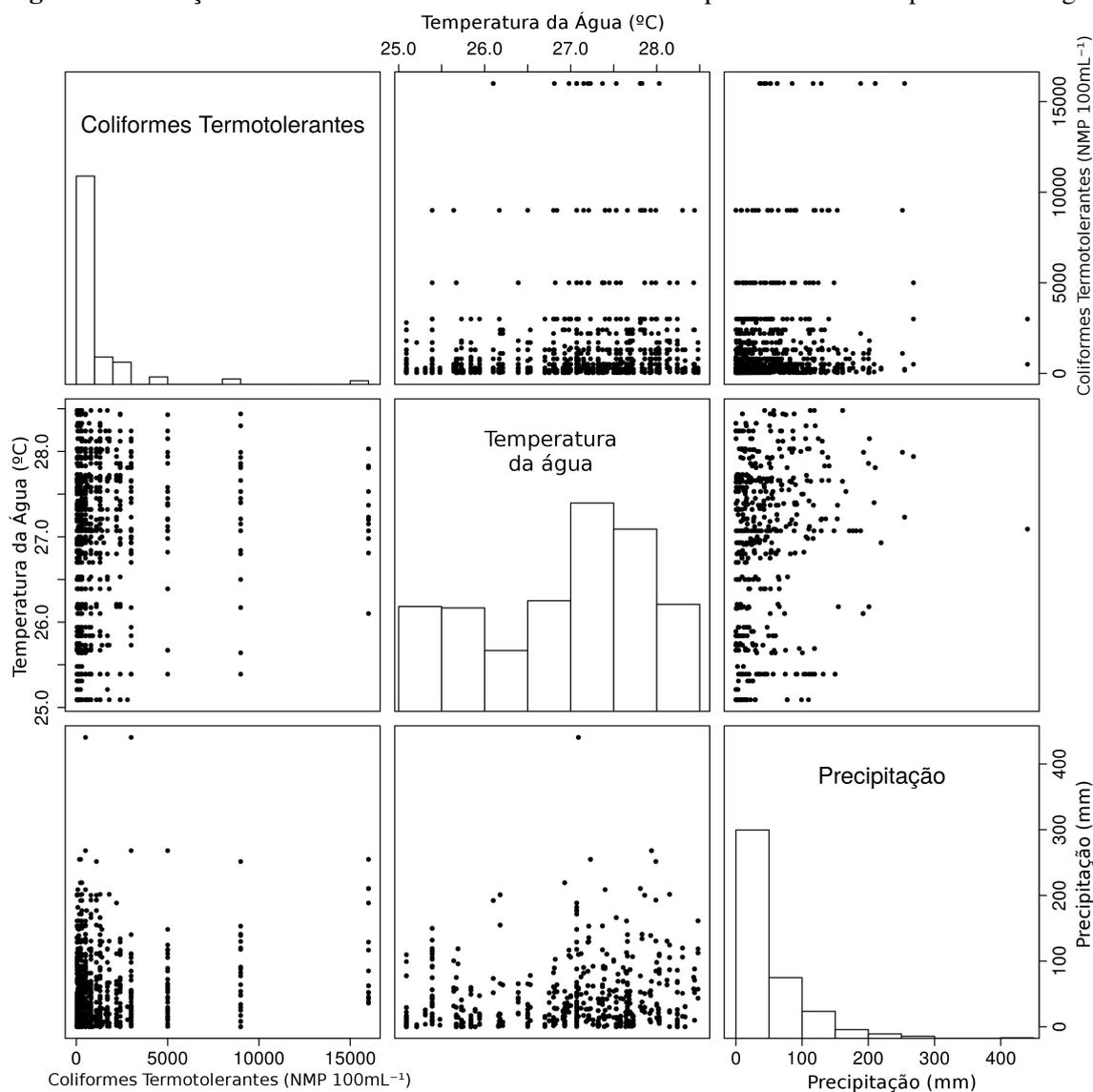
As variáveis contínuas utilizadas no modelo são a temperatura média superficial da água do mar e a precipitação mensal. Assim como a variável resposta (Coliforme termotolerante), essas variáveis possuem variações de máximos, mínimos e valores de tendências centrais distintas (Tabela 3.2). Essas variações observadas ao longo dos anos estudados são as variações comuns para a região. Essas variáveis também possuem distribuições diferentes para a região de estudo e não possuem relação direta (ou indireta) uma com as outras (Figura 3.2).

Tabela 3.2 Descrição das variáveis contínuas por estação do ano.

Variável	Estação	N	Média	Mediana	Mín.	Máx.
Coliformes fecais (NMP 100 mL ⁻¹)	Seca	607	695	230	30	16000
	Chuva	606	1371	300	30	16000
Precipitação (mm month ⁻¹)	Seca	607	22,0	8,9	0	219,2
	Chuva	606	62,8	46,9	0	440,4
Temperatura (°C)	Seca	607	26,5	26,5	25,1	28,2
	Chuva	606	27,3	27,4	25,4	28,5

Para as variáveis contínuas, a forma de entender o seu comportamento na balneabilidade é diferente. Elas podem variar entre um valor mínimo e máximo (valores esses que dependem da variação natural do ambiente). Logo, para realizar a predição com uma variável contínua as variáveis categóricas são fixadas e a contínua varia. Por conta dessa característica, as variáveis contínuas tendem a apresentar tendências diferentes em relação aos locais, estações e anos que estejam sujeitos. Para essas variáveis foram utilizadas previsões levando em conta as três praias, as duas estações e todos os anos, para poder simbolizar uma curva pessimista, otimista e diversas curvas intermediárias.

Os padrões de precipitação são imprescindíveis para diversos processos ecológicos que ocorrem no estuário (BARLETTA et al., 2012). Em relação à balneabilidade de praias, a chuva, age carreando resíduos urbanos, que podem ou não ter patógenos, para a água do mar. Também é responsável pelo decréscimo da salinidade, assim contribuindo em um aumento de sobrevi-

Figura 3.2 Relação das variáveis contínuas com a variável resposta e os seus respectivos histogramas.

Fonte: O Autor

vência para esses patógenos. O aumento de chuva é responsável por aumentar a vazão dos rios e, por lixiviação, lavar as ruas da cidade e carrear toda a contaminação para os rios e praias.

Para fazer a previsão da influência da precipitação foram utilizados índices variando de 0 a 500 mm mensais na estação chuvosa e 0 a 300 mm mensais na estação seca, que são padrões esperados para a região (Tabela 3.2). Para os padrões de precipitação, o *Ano9* (Setembro/2008 a Agosto/2009) foi observado como sendo o ano onde ocorreu o pior cenário para o modelo

e o *Ano6* (Setembro/2005 a Agosto/2006) ficou como o melhor. Foram geradas curvas para todas as combinações possíveis entre as variáveis categóricas existentes (Figuras 3.3; 3.4; 3.5). Foi determinada uma temperatura fixa para a construção das curvas utilizando o valor médio obtido na estação do ano correspondente, seco ou chuvoso para a obtenção das curvas (Tabela 3.2; Figuras 3.3; 3.4; 3.5).

Condicionando o modelo fixo pra todas as variáveis e mantendo apenas a chuva como ajustável, temos que a cada 1 mm de chuva que incida sobre a região, temos um aumento da chance da praia ser imprópria em cerca de 0,3%. E para cada 100 mm de chuva essa chance aumenta para 38%. Ou seja, para os padrões pluviométricos da região não é difícil encontrar esses índice de chuva e, conseqüentemente, uma maior probabilidade de se encontrar as praias impróprias com o aumento das chuvas.

Um dos efeitos de um aumento da temperatura da água está em uma maior capacidade dos coliformes termotolerantes de sobreviverem na água do mar. Essa relação ocorre, pelo fato desses micro-organismos serem originários de animais de sangue quente (DAVINO; MELO; CAFFARO FILHO, 2015).

Para fazer a previsão da relação da temperatura sobre as condições da balneabilidade, ou seja, as chances da praia estar imprópria para banho foi aplicada uma variação de 25 a 29 °C de temperatura superficial da água do mar mensais para ambas as estações seca e chuvosa, cujos valores foram observados na região de estudo (Tabela 3.2). Em relação às simulações com a temperatura, foi observado que o ano mais crítico foi o *Ano13* e o melhor cenário o *Ano6*. Para obter as curvas de previsão, foram aplicadas as combinações possíveis com as variáveis categóricas de estação, local e praia. Para calcular as curvas, foi determinada uma precipitação média fixa para a estação seca e outra para a estação chuvosa baseado na média dos valores observados (Tabela

Quanto à temperatura, temos que se aumentarmos 1 °C na água do mar as chances da água ser imprópria será de 43%. Esse aumento é significativo, porém as temperaturas da água do

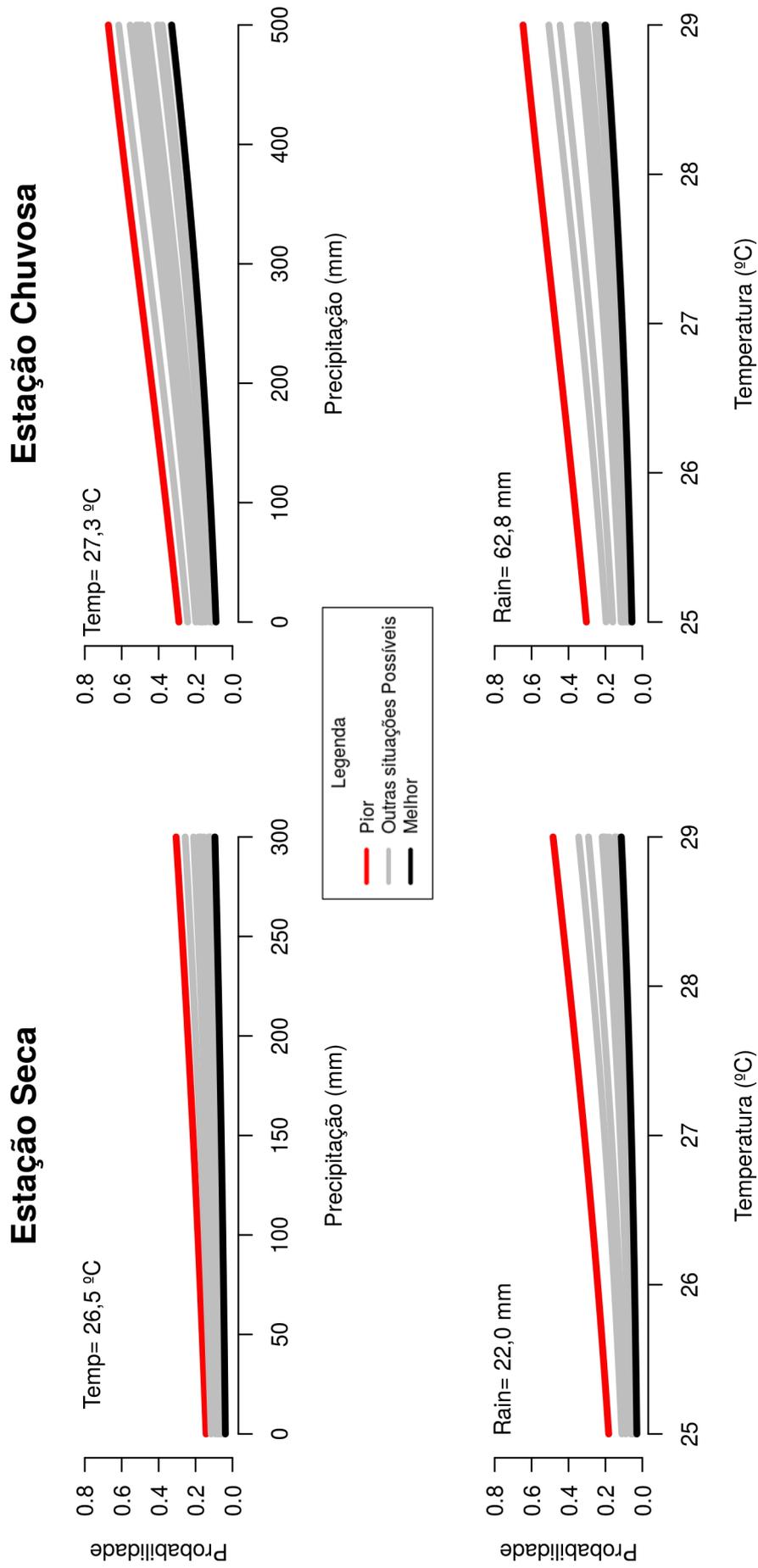
mar não tendem a variar ao longo de um ano em grandes unidades. Isso ocorre, geralmente, ao longo de fenômenos de longa escala.

Em relação à praia de Carne de Vaca, observa-se que na estação seca em relação a variação de precipitação, na pior situação não é observado valores acima de 30% de chances de praia ser encontrada imprópria para o banho. Sendo observado que na maioria dos anos esse valor não atinge os 25% de chances. No melhor cenário, a chance da praia estar imprópria é de cerca de 10%. Em relação à estação chuvosa, o cenário é diferente. Na pior avaliação, observa-se que a partir de 300 mm de precipitação mensal, a balneabilidade encontra-se com chances de 50% de estar imprópria, atingindo até cerca de 70% de chances se observado índices de precipitação de 500 mm. Na maioria dos anos intermediários observa-se que em situação de precipitação máxima para a estação, a praia atinge até cerca de 50% de chances de praia imprópria. Em relação ao melhor cenário, observam-se valores abaixo de 25% com 500 mm de precipitação mensal (Figura 3.3).

Para a praia de Carne de Vaca, na estação seca em relação a variação da temperatura superficial da água do mar, foi observado que para o ano de pior situação, ao atingir os 29 °C da temperatura superficial da água do mar é possível ter cerca de 50% de chances de se observar que a praia esteja imprópria para o banho. Enquanto que em 25 °C observa-se 20% de chances. Para a maioria dos anos intermediários foi necessário temperatura superficial variou de 10% de chances a 25 °C até cerca de 25% de chances de água imprópria para o banho a 29 °C. No melhor cenário foi observado que as chances da praia estar imprópria variaram de 5% em 25 °C a cerca de 10% em 29 °C. Em relação a estação chuvosa é observado que, no ano mais crítico, acima de 27 °C cerca de 50% de chances da água está imprópria para banho. Variando de 30% com temperaturas de 25 °C a cerca de 70% com temperaturas de 29 °C. Em relação aos anos intermediários é observado que a maioria dos anos variou de 10% com temperaturas de 25 °C até cerca de 30% de chances de praia imprópria a temperatura de 29 °C. Já para o melhor cenário é observado que as chances de praia imprópria variam de 5% com temperatura

da água de 25 °C a 10% com temperatura da água de 29 °C (Figura 3.3).

Figura 3.3 Variação da probabilidade da praia de Carne de Vaca estar em condições impróprias para o banho com a variação da chuva mensal e da temperatura superficial da água do mar por estação do ano.

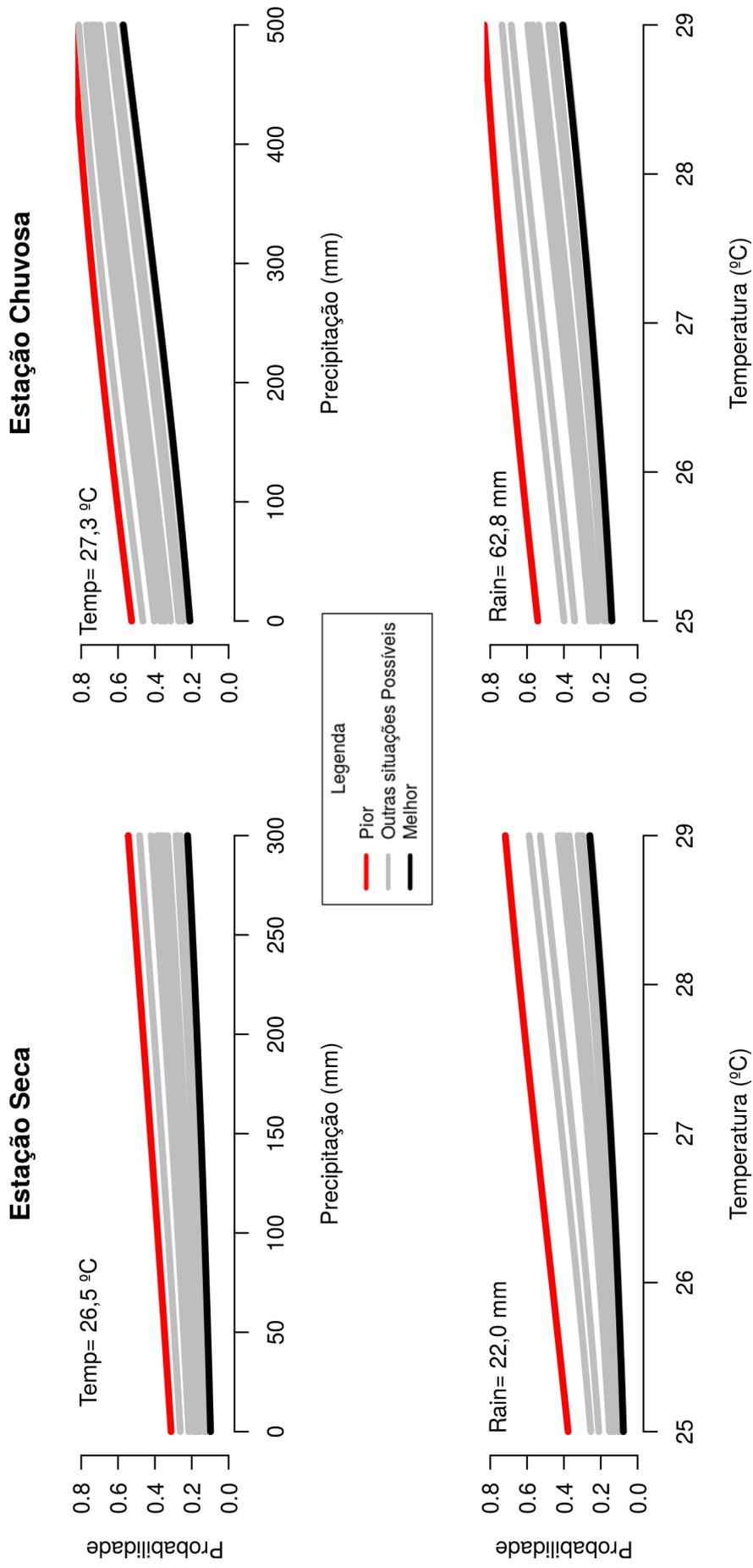


Fonte: O Autor

Já a praia de Ponta de Pedras, na estação seca em relação a temperatura, observa-se no pior cenário que as chances variam de 35% a 50% em 300 mm da praia estar imprópria. Nos anos intermediários, observa-se que a maioria dos anos encontra-se acima dos 20% caso não chova no período, até cerca de 30% a 300 mm. No melhor cenário foi observada uma variação de 10% até 20% de chances de a praia ser encontrada imprópria. Em relação a estação chuvosa, a situação é mais crítica. No ano mais crítico, em todos os valores de precipitação a praia encontra-se com chances superiores a 50% de estar imprópria para o banho. Atingindo cerca de 80% a 500 mm de precipitação. Na maioria dos anos intermediários, varia de 40% de chance de praia imprópria, até atingir cerca de 50% em 300 mm e cerca de 60% de chances a 500 mm. No melhor cenário a variação ocorre entre 20% até 40% de chances da praia estar imprópria para o banho. (Figura 3.4).

Em relação à variação da temperatura na praia de Ponta de Pedras, na estação seca, é observado no ano de pior situação que a probabilidade da praia estar imprópria varia de 40% a 25 °C, com cerca de 50% a 27 °C e atingindo valores de 60% a 29 °C. Nos cenários intermediários é observado que a probabilidade varia de 20 a 40% de chances da praia estar imprópria. Em relação ao ano de melhor situação é possível observar que as chances da praia está imprópria para o uso são de cerca 10% com temperaturas da água de 25 °C a 20% de chances com temperatura de 29 °C. Já na estação chuvosa observa-se um cenário pior. No pior cenário se observa que desde os 25 °C a chances da água encontra-se imprópria é superior a 50% e chega a atingir próximo de 80% a 29 °C. E nos anos intermediários observa-se que em temperaturas da água superiores a 27 °C a chance da água está imprópria também é de cerca de 50%. E que abaixo desses valores a maioria encontra-se entre 20% e 50% de chances da praia está imprópria, acima pode chegar até 55% de chances a 29 °C. Em relação ao melhor cenário é observado que com cerca de 25 °C de temperatura da água a chances são de cerca de 15% de serem impróprias, atingindo até 25% a temperatura de 29 °C (Figura 3.4).

Figura 3.4 Variação da probabilidade da praia de Pedras estar em condições impróprias para o banho com a variação da chuva mensal e da temperatura superficial da água do mar por estação do ano.

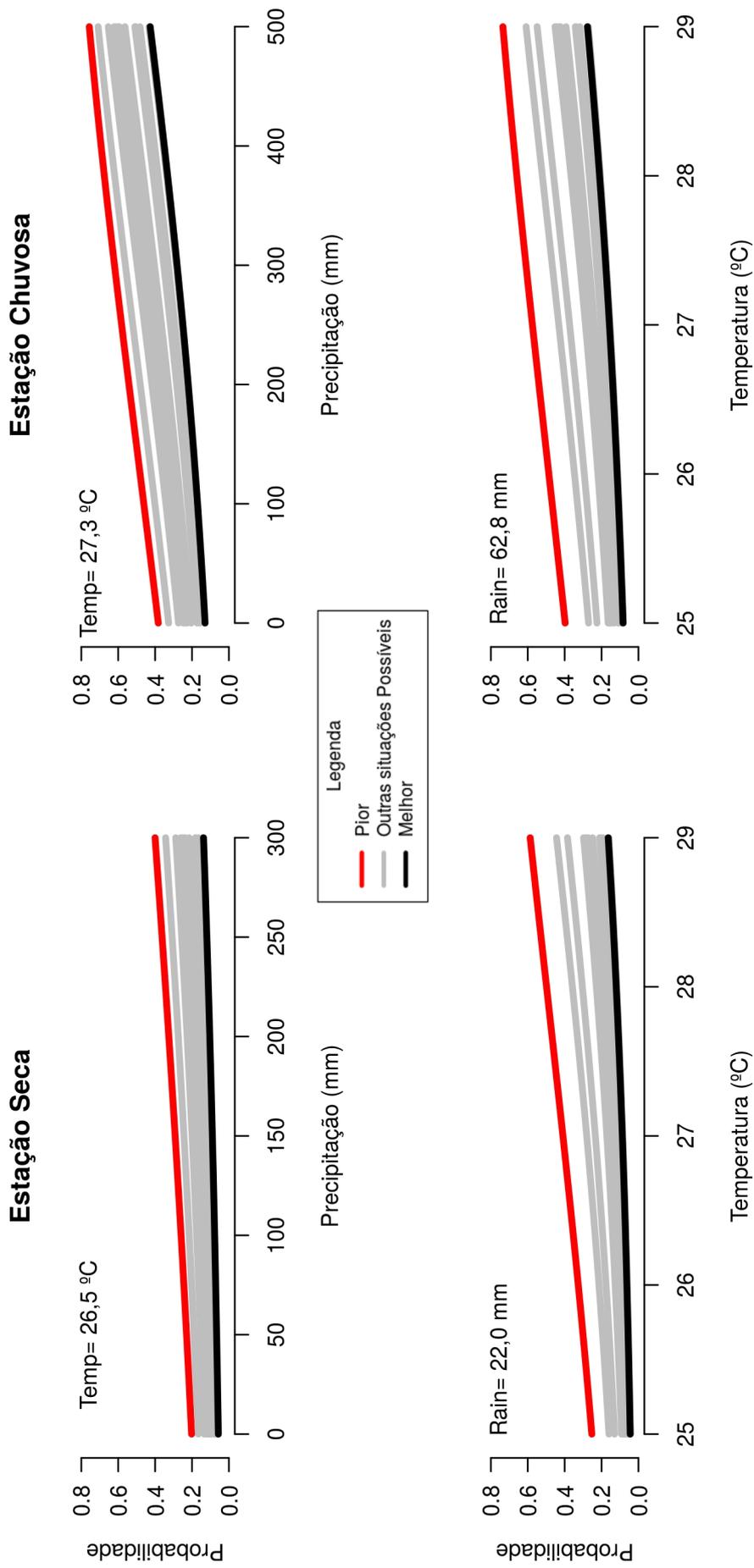


Fonte: O Autor

Em relação à praia de Catuãma, ela tende a se comportar semelhante a praia de Carne de Vaca. Na estação seca, em relação a variação do índice de precipitação, é observado no cenário mais crítico que a probabilidade de praia imprópria varia de 20% a cerca de 40%. Na maioria dos anos, os valores ficam entre 10% se não chover até 25% com cerca de 300 mm de precipitação mensal. No melhor cenário, é observado cerca de 5% de chances de praia imprópria se não chover a 10% de chances, se chover os 300 mm mensais. Em relação à estação chuvosa, no pior cenário é observado, a partir de 250 mm, cerca de 50% de chances da praia encontrar-se imprópria para banho. Mesmo que não chova no mês é observado valores de cerca 40% de chances de praia imprópria e as chances podem atingir até próximo a 80% em caso de 500 mm de precipitação. Na maioria dos anos intermediários é observado cerca de 20% de chances de praia imprópria até 40%. No melhor cenário é observado que as chances de praia imprópria variam de 10 a 30% (Figura 3.5).

Para a praia de Catuãma, na estação seca em relação a temperatura, é observado que para o pior cenário, cerca de 28,5 °C é a temperatura necessária para atingir a chance de 50% da água estar imprópria para o banho. Com uma temperatura superficial da água do mar abaixo desse valor é observado chances entre 25 a 50%. E com a temperatura de 29 °C as chances de água imprópria são de cerca de 60%. Em relação aos anos intermediários é observado que as chances de água imprópria variam de 10 a 30%. No melhor cenário é observado que as chances de praia imprópria variam de 5% com 25 °C a 10% com 29 °C. Na estação chuvosa é observado que acima dos 27 °C, no pior cenário, as chances da praia está imprópria para o banho é de 50%. Abaixo dessa temperatura, as chances variam de 40 a 50% e pode atingir até cerca de 60% a 29 °C. Para os cenários intermediários são observados que as chances de água imprópria variam de 20 a 40%. No melhor cenário é observado que a probabilidade da água estar imprópria varia de 10% a 25 °C à 20% em 29 °C (Figura 3.5).

Figura 3.5 Variação da probabilidade da praia de Catuãma estar em condições impróprias para o banho com a variação da chuva mensal e da temperatura superficial da água do mar por estação do ano.



Fonte: O Autor

Em relação à temperatura superficial da água do mar, a resposta de alteração no modelo é mais acentuada na relação de balneabilidade em cada uma das praias observadas (Figuras 3.3; 3.4; 3.5).

Foi percebido que as chances de imprópria em todas as categorias aumentam com o aumento do índice de precipitação, conforme esperado. A precipitação é a covariada contínua que possui a menor influência percentual por unidade, porém é a que mais pode variar. A região tropical possui uma variação do índice de precipitação muito grande, o que faz com que essa variável se torne uma das mais influentes. As probabilidades de risco da praia ser imprópria na estação seca está ligado a um aumento da precipitação, porém esses valores não são esperados na estação seca com frequência. Já na estação chuvosa as chuvas são mais presentes o que pode acarretar em maiores observações em que as praias estejam impróprias para o uso.

Em relação à temperatura, as variações são menores. Com isso, na estação seca, temos que a qualidade da água piora acima de 28 °C, porém esses valores de temperatura da água superficial são encontrados mais facilmente encontrados que os altos valores observados na estação chuvosa. Ou seja, a temperatura superficial da água influencia mais a qualidade da água na estação seca que na chuvosa (Figura 3.3, 3.4 e 3.5).

Conclusão

A balneabilidade é uma questão de saúde pública, e sua garantia é uma responsabilidade de toda a sociedade. O modelo proposto é uma ferramenta que pode ser utilizado por diversos atores interessados no conhecimento das tendências desse parâmetro da qualidade das águas balneares como a academia e gestores públicos e privados. Com a capacidade de prever sobre a balneabilidade das praias de Goiana. Atualmente a balneabilidade é realizada semanalmente, no início da semana, e o resultado é aplicado, com as últimas 4 semanas para avaliar a praia. Com a utilização do modelo, pode-se analisar situações que ocorram, isoladamente, nos meio da semana que torne propício para a qualidade ruim da água, assim agindo pontualmente.

O modelo possui um bom poder de predição para identificar a qualidade da balneabilidade das praias de Goiana. E através do modelo, foi percebido que a praia de Ponta de Pedras é a praia que apresenta a tendência de ser mais observado condições de praia imprópria ao ser comparada com as outras duas. E através da análise do modelo, também é possível observar que as características das praias de Carne de Vaca e Catuãma, mesmo em pontos distintos da costa do município de Goiana, possuem características de balneabilidade semelhante.

A qualidade de água para uso recreacional nas praias do município de Goiana depende fortemente dos padrões de chuva e temperatura. O aumento da precipitação e/ou aumento da temperatura superficial da água do mar tende a aumentar as chances da praia ser encontrada imprópria. O grau de influência de cada uma dessas variáveis varia ano após ano e também por estação. É observado que na estação chuvosa o aumento da precipitação influencia mais a qualidade e que na estação seca a temperatura tem uma maior atuação. Seria interessante se, além da obtenção de dados de coliformes termotolerantes, fossem obtidos dados de salinidade e

temperatura *in situ*, para assim realizar modelos mais robustos. As agências estaduais de meio ambiente deveriam ter essa sensibilidade e criar um modelo, ou utilizar algum já desenvolvido, aplicá-los e geri-los a qualidade das águas, em relação as mudanças dos parâmetros da água.

Contudo, um decréscimo da qualidade da água observado de 2001 a 2012, sugerindo com o aumento populacional, não foi acompanhado por um planejamento urbano e um sistema sanitário correto.

Informação quanto à condição de balneabilidade das praias é essencial para que os usuários de praias estejam cientes das condições e do risco ao utilizar esses ambientes, assim como para os tomadores de decisões que deveriam buscar entender o porquê dessa contaminação e tentar solucionar o problema. No caso das praias do município de Goiana, o determinante direto da qualidade da água são os usos e a forma de concentração urbana dos distritos costeiros. Há pouca influência das variações sazonais do fluxo do rio Goiana já que a maior densidade populacional encontra-se a cerca de 24 km da área costeira, no centro de Goiana.

Observando que o aumento da temperatura e mudanças nos padrões de precipitação pode agir diretamente na classificação dessas praias, como demonstra o modelo proposto, é possível perceber que as mudanças climáticas podem vir a afetar diretamente a qualidade das praias de Goiana. Aumentos na temperatura superficial da água são observados em alguns locais e esses aumentos podem propiciar que a qualidade da água das praias caia com o passar do tempo. Além disso, efeitos climáticos, podem alterar os padrões de chuva, o que também tenderá a afetar esses ambientes.

No futuro, uma população cada vez mais mobilizada e informada deve passar a cobrar dos gestores ambientais melhorarem a qualidade das águas balneares. Os resultados desse trabalho indicam que a baixa qualidade das praias do município de Goiana resulta da falta, ou ineficiência do saneamento básico, mau uso do solo e dos recursos hídricos.

Referências

- ABREU, M. N. S. *Uso de modelos de regressão logística ordinal em epidemiologia: Um exemplo usado a qualidade de vida*. 139 p. Tese (Doutorado), 2007.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. *Pernambuco em Mapas*. Recife-PE. Brasil: CONDEPE/FIDEM, 2011. 159 p. ISBN 978-85-99590-09-6.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. *Pernambuco em rede: Caracterização das regiões de influência das cidades pernambucanas*. Recife-PE. Brasil: CONDEPE/FIDEM, 2012. 150 p. ISBN 978-85-99590-15-7.
- ALVES, L. H. B.; COSTA, M. F. da. Análise temporal das condições de balneabilidade da praia de Carne de Vaca – Goiana (Pernambuco). In: *XXII CONIC*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 2, p. 4.
- ARAUJO, F. V. et al. Classification based on coliform counts of coastal waters in metropolitan Rio de Janeiro, Brazil. In: *Coastal Zone: Proceedings of the Symposium on Coastal and Ocean Management*. [S.l.]: Publ by ASCE, 1991. v. 4, p. 3246–3258. ISBN 0872628094.
- ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. F. Environmental quality indicators for recreational beaches classification. *Journal of Coastal Research*, v. 24, n. 6, p. 1439–1449, 2008.
- ARIZA, E. et al. On the relationship between quality, users' perception and economic valuation in NW Mediterranean beaches. *Ocean & Coastal Management*, v. 63, p. 55–66, jul. 2012.
- AURELIANO, J. T. *Balneabilidade das praias de Pernambuco o núcleo metropolitano*. 105 p. Tese (Dissertacao) — Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- BAPTISTA-NETO, J. A.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. *Poluição Marinha*. 1. ed. [S.l.]: Editora Interciência, 2008. 432 p.
- BARLETTA, M.; COSTA, M. F. Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 371–375, 2009.
- BARLETTA, M. et al. The interaction rainfall vs. weight as determinant of total mercury concentration in fish from a tropical estuary. *Environmental Pollution*, v. 167, p. 1–6, 2012. ISSN 0269-7491.
- BATISTA, G. M. D.; DA SILVA, T. T. *Regressão para Variáveis Categóricas Ordinais aplicado em indicadores financeiros*. [S.l.], 2009. 37 p.

- BEATY JR., T. V. et al. Comparative Study of Toxicity Testing and Macroinvertebrate Assessment of Petroleum Storage and Manufacturing Site and Receiving Water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 19, n. 2, p. 405–416, 2000.
- BENJAMIN, L. et al. Occurrence of generic *Escherichia coli*, *E. coli* O157 and Salmonella spp. in water and sediment from leafy green produce farms and streams on the Central California coast. *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., v. 165, n. 1, p. 65–76, 2013.
- CARVALHO, J. L. B. et al. Modeling the Praia dos Ingleses submarine outfall, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, v. 67, n. 8, p. 1832–40, jan 2013. ISSN 0273-1223.
- CENTRO DE EXCELÊNCIA PARA O MAR BRASILEIRO. *O Brasil e o mar no século XXI: Relatório aos tomadores de decisão do país (Portuguese Edition)*. [S.l.]: A Comissão, 2012. 540 p. ISBN 9788565171007.
- CHRISTIAN, R. R.; PIPES, W. O. Frequency distribution of coliforms in water distribution systems. *Appl Environ Microbiol.*, v. 45, n. 2, p. 603–609, 1983.
- CLARK, R. B. *Marine Pollution*. 5th. ed. [S.l.]: Oxford University Press, USA, 2001. 248 p. ISBN 0198792921.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA No 20, de 18 de junho de 1986*. [S.l.]: CONAMA, 1986. 11356–11361 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 274, de 29 de Novembro de 2000*. [S.l.]: CONAMA, 2000. 256 – 258 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005*. [S.l.]: CONAMA, 2005. 58 – 63 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Altera o inciso II do § 4º e a tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA no 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água*. 2008. 68–69 p.
- CORDEIRO, C. A. M. M.; COSTA, T. M. Evaluation of solid residues removed from a mangrove swamp in the São Vicente Estuary, SP, Brazil. *Marine pollution bulletin*, v. 60, n. 10, p. 1762–7, out. 2010.
- COSTA, E. G.; LOPES, R. M.; SINGER, J. M. Implications of heterogeneous distributions of organisms on ballast water sampling. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, v. 91, n. 1, p. 280–287, 2015.
- COSTA, M.; BARLETTA, M. Beach Environmental Quality - Water quality monitoring programs at recreational beaches in Brazil. In: *II International Workshop on beach Eco Watch Programs*. Bocaray Island, The Philippines: [s.n.], 2004. p. 1 – 26.

COSTA, M. F. da et al. Poluição Marinha. In: EZKINAZI-LESSA, E.; aO, S. N. L.; COSTA, M. F. da (Ed.). *Oceanografia: um cenário tropical*. 1. ed. Recife, PE Brasil: Bagaço, 2004. p. 287 – 317. ISBN 9788574095820.

COSTA, M. F. da; LEITAO, S. N.; SANTOS, L. P. d. S. Bioindicadores da qualidade ambiental. In: ESKINAZI-LESSA, E.; LEITAO, S. N.; COSTA, M. F. da (Ed.). *Oceanografia: um cenário tropical*. 1. ed. Recife, PE Brasil: Bagaço, 2004. p. 319 – 352. ISBN 9788574095820.

COTTER, A. J. R. Water quality surveys : A statistical method based on determinism, quantiles and the binomial distribution. *Water Res.*, v. 19, n. 9, p. 1179–1189, 1985.

COUTINHO, K. *Estudo aponta desafio com instalação de polo automotivo de Goiana, PE*. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2014/10/estudo-aponta-desafio-com-instalacao-de-polo-automotivo-de-goiana-pe.html>>.

CYSNEIROS, F. J. d. A. FRANCISCO JOSÉ DE AZEVÊDO CYSNEIROS. 2004. Disponível em: <<http://www.de.ufpe.br/~cysneiros/>>.

DAVINO, A. M. C.; MELO, M. B. de; CAFFARO FILHO, R. A. Assessing the sources of high fecal coliform levels at an urban tropical beach. *Brazilian journal of microbiology : [publication of the Brazilian Society for Microbiology]*, Sociedade Brasileira de Microbiologia, v. 46, n. 4, p. 1019–26, dec 2015. ISSN 1678-4405.

DE SOUSA, R. C.; PEREIRA, L. C. C.; DA COSTA, R. M. Water quality at touristic beaches on the Amazon coast. In: *Journal of Coastal Research*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1057–1062. ISSN 07490208.

DUAN, Y.; SMITH, E. P.; YE, K. Using power priors to improve the binomial test of water quality. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, v. 11, n. 2, p. 151–168, 2006.

EFSTRATIOU, M. A. Managing Coastal Bathing Water Quality: The Contribution of Microbiology and Epidemiology. *Marine Pollution Bulletin*, v. 42, n. 6, p. 424–431, jun. 2001.

EISWERTH, M. E.; KASHIAN, R. D.; SKIDMORE, M. Examining angler behavior using contingent behavior modeling: A case study of water quality change at a Wisconsin lake. *Water Resources Research*, v. 44, p. 1–10, 2008.

EL-SHAARAWI, A. H. The use of historical data for estimating the number of samples required for monitoring drinking water. *The Science of the total Environment*, v. 42, p. 289–303, 1985.

ENDO, I. et al. Estimating benefits of improving water quality in the largest remaining tidal flat in south korea. *Wetlands*, v. 32, p. 487–496, 2012.

FONTENELLE, T. H.; NETO, J. A. B.; FONSECA, E. M. da. Water quality along the Alagoas State Coast, Northeast Brazil: advocacy for the coastal management. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 14, p. 559–567, 2015.

GRIFFITH, J. F. et al. Microbiological water quality at non-human influenced reference beaches in southern California during wet weather. *Marine pollution bulletin*, v. 60, n. 4, p. 500–8, abr. 2010.

HANLEY, N.; BELL, D.; ALVAREZ-FARIZO, B. Valuing the benefits of coastal water quality improvements using contingent and real behaviour. *Environmental and Resource Economics*, v. 24, p. 273–285, 2003.

HORSTMAN, E. M. et al. On the consequences of a long-term perspective for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, v. 52, n. 12, p. 593–611, dez. 2009.

INSTITUTO AMBIENTAL RATONES. *Programa Bandeira Azul Praias – Brasil: Critérios e notas explicativas*. 2010. 53 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Regiões de Influência das CIDADES*. [S.l.]: IBGE, 2007. 201 p. ISBN 9788524040399.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. [S.l.]: IBGE, 2008. 219 p. ISBN 9788524041365.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do CENSO 2010. 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de Julho de 2014*. [S.l.]: IBGE, 2014. 135 p.

JAMES, R. J. From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*, v. 43, n. 6, p. 495–514, jun. 2000.

KARYDIS, M.; KITSIOU, D. Marine water quality monitoring: A review. *Marine pollution bulletin*, Elsevier Ltd, set. 2013.

LAMPARELLI, C. C. et al. Are fecal indicator bacteria appropriate measures of recreational water risks in the tropics: A cohort study of beach goers in Brazil? *Water research*, Elsevier Ltd, v. 87, p. 59–68, dec 2015. ISSN 1879-2448.

LAWS, E. A. *Aquatic Pollution: An Introductory Text, 2nd Edition*. 2nd. ed. [S.l.]: Wiley, 1993. 624 p. ISBN 0471588830.

LOFTIS, J. C.; IYER, H. K.; BAKER, H. J. Retkinking Poisson-based statistics for ground water quality monitoring. *Ground Water*, v. 37, n. 2, p. 275–281, 1999.

MADHUBANI, H. A. P. P.; SOORIYARACHCHI, M. R. Model to identify the effect of water quality parameters on incidence of hepatitis. In: *Second International Symposium on Water Quality and Human Health: Challenges Ahead*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 15–16.

- MATHEW, M. et al. Anatomy of an urban waterbody: A case study of Boston's Muddy River. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 8–9, p. 1996–2002, 2011.
- MAUL, A.; EL-SHAARAWI, A. H.; BLOCK, J. C. Heterotrophic bacteria in water distribution system. II. Sampling design for monitoring. *The Science of the total Environment*, v. 44, p. 215–224, 1985.
- MCKENNA, S. et al. Event Detection from Water Quality Time Series. In: *World Environmental and Water Resources Congress: Restoring our natural habitat*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–12.
- MCLACHLAN, A. et al. Sandy beach conservation and recreation: Guidelines for optimising management strategies for multi-purpose use. *Ocean & Coastal Management*, v. 71, p. 256–268, jan. 2013.
- MORESCO, V. et al. Microbiological and physicochemical analysis of the coastal waters of southern Brazil. *Marine pollution bulletin*, v. 64, n. 1, p. 40–8, jan. 2012.
- MOROSINE, F.; RAMALHO, B. C. de M. Evolução das condições de balneabilidade do litoral do Estado da Paraíba-Brasil. In: *VIII Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 1, p. 5.
- NEUMANN, C. M.; HARDING, A. K.; SHERMAN, J. M. Oregon Beach Monitoring Program: Bacterial exceedances in marine and freshwater creeks/outfall samples, October 2002–April 2005. *Marine pollution bulletin*, v. 52, n. 10, p. 1270–7, out. 2006.
- NORIEGA, C. E. D.; ARAÚJO, M. Nutrient budgets (C, N and P) and trophic dynamics of a Brazilian tropical estuary: Barra das Jangadas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 2, p. 441–456, 2011.
- PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA. *Directiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de Fevereiro de 2006 relativa à gestão da qualidade das águas balneares e que revoga a Directiva 76/160/CEE*. 2006. 37 – 51 p.
- PAULA, G. A. *Modelos de regressão com apoio computacional*. [S.l.: s.n.], 2013. 440 p.
- PEREIRA, S. P. et al. Modeling of coastal water contamination in Fortaleza (Northeastern Brazil). *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, IWA Publishing, v. 72, n. 6, p. 928–36, jan 2015. ISSN 0273-1223.
- PINTO, K. C. et al. Microbiological quality assessment of sand and water from three selected beaches of South Coast, São Paulo State, Brazil. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, v. 66, n. 11, p. 2475–82, jan 2012. ISSN 0273-1223.
- POND, K. *Water Recreation and Disease: Plausibility of Associated Infections (Who Emerging Issues in Water & Infectious Disease)*. [S.l.]: Intl Water Assn, 2006. 259 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2011. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>.

ROLDÃO, J.; CARVALHO, J. L. B.; ROBERTS, P. J. W. Field observations of dilution on the Ipanema Beach outfall. In: *Water Science and Technology*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 43, n. 11, p. 351–360. ISSN 02731223.

ROLFE, J.; GREGG, D. Valuing beach recreation across a regional area: The Great Barrier Reef in Australia. *Ocean and Coastal Management*, Elsevier Ltd, v. 69, p. 282–290, 2012.

RUSSO, R. Development of marine water quality criteria for the USA. *Marine Pollution Bulletin*, v. 45, n. 1-12, p. 84–91, set. 2002.

SANCHEZ, P. S.; AGUDO, E. G.; CASTRO, F. G. Evaluation of the sanitary quality of marine recreational waters and sands from beaches of the Sao Paulo State, Brazil. *Water Science and Technology*, v. 18, n. 10, p. 61–72, 1986. ISSN 02731223.

SEKOVSKI, I.; NEWTON, A.; DENNISON, W. C. Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 96, p. 48–59, jan. 2012.

SHENG, H. et al. Analysis of cyanobacteria bloom in the Waihai part of Dianchi Lake, China. *Ecological Informatics*, Elsevier B.V., v. 10, p. 37–48, 2012.

SILVA, I. R. et al. Amazon beaches (São Luís, Brazil): Recreational use, environmental indicators, and the perception of beachgoers. In: *Journal of Coastal Research*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1287–1291. ISSN 07490208.

SILVA, P. H. F. da. *Medidas do Valor Preditivo de Modelos de Classificação Aplicados a Dados de Crédito*. 2008.

SILVA, T.; TAGLIANI, P. Environmental planning in the medium littoral of the Rio Grande do Sul coastal plain – Southern Brazil: Elements for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, v. 59, p. 20–30, abr. 2012.

SMITH, R.; TANG, Y. Advection Tests of Optimal Compact Implicit Scheme. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 129, n. May, p. 408–411, 2003.

TEODORO, A. C. et al. Analysis of foraminifera assemblages and sediment geochemical properties to characterise the environment near Araçá and Saco da Capela domestic sewage submarine outfalls of São Sebastião Channel, São Paulo State, Brazil. *Marine pollution bulletin*, v. 60, n. 4, p. 536–53, abr. 2010.

TSENG, L. Y.; JIANG, S. C. Comparison of recreational health risks associated with surfing and swimming in dry weather and post-storm conditions at Southern California beaches using quantitative microbial risk assessment (QMRA). *Marine pollution bulletin*, v. 64, n. 5, p. 912–8, maio 2012.

US CONGRESS. *Beaches Environmental Assessment and Coastal Health Act of 2000*. 2000. 870–877 p.

VALENÇA, A. P. M. C.; SANTOS, P. J. P. Macrobenthic community for assessment of estuarine health in tropical areas (Northeast, Brazil): review of macrofauna classification in ecological groups and application of AZTI Marine Biotic Index. *Marine pollution bulletin*, v. 64, n. 9, p. 1809–20, set. 2012.

VON GLASOW, R. et al. Megacities and large urban agglomerations in the coastal zone: interactions between atmosphere, land, and marine ecosystems. *Ambio*, v. 42, n. 1, p. 13–28, fev. 2013.

WILLIAMS, A.; MICALLEF, A. *Beach Management: Principles and Practice*. [S.l.]: Routledge, 2009. 480 p. ISBN 1844074358.

YUNG, Y.-K. et al. Long-term Changes in Water Quality and Phytoplankton Characteristics in Port Shelter, Hong Kong, from 1988–1998. *Marine Pollution Bulletin*, v. 42, n. 10, p. 981–992, out. 2001.

ZANOLI SATO, M. I. et al. Sanitary quality of sands from marine recreational beaches of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 36, n. 4, p. 321–326, 2005. ISSN 15178382.

ZHU, R.; EL-SHAARAWI, A. H. Model clustering and its application to water quality monitoring. *Environmetrics*, v. 20, p. 190–205, 2009.

Apêndice A - Script do ajuste do modelo proposto

```
#Familia Binominal

#Entrada dos dados

c<-read.csv("coli.csv", sep=",", header=T)
Coli<-c$Coli
Ano<-c$Ano
Place<-c$Place
Rainfall <-c$Rainfall
Temp<-c$Temp
Log_coli<-c$Log_coli
S<-c$S

#Identificação das variáveis categóricas

Ano<-factor(Ano)
S<-factor(S)
Place<-factor(Place)
NF<-rep(0,1213)
NF
```

```
NF[c$Coli>1000]=1
NF

# Modelo Geral

fit.1<-glm(NF ~ -1 + Ano + S + Place + Rainfall + Temp,
family=binomial)
sfit.1=summary(fit.1)
phi=1
gl=sfit.1$df.residual
pvalor=1-pchisq(deviance(fit.1)*phi,gl)

#stepAIC para encontrar o melhor modelo

library(MASS)
fit<-fit.1
fit.1<-stepAIC(fit.1, direction="both")

#Parâmetros para a função de envelope

form = fit.1$formula
Fam=binomial
k=20
alfa=0.05
```

```
envelope.binomialsr(form,Fam, k, alfa)

#Observações do Modelo

w<-glm1$weights
W<-diag(w)
H<-sqrt(W) %*% X %*% solve(t(X) %*% W %*% X) %*% t(X) %*% sqrt(W)
h<-diag(H)
rd<-resid(fit.1,type="deviance")
phi<-1
td<-rd*sqrt(phi/(1-h))
pacf(td)
```

Apêndice B - Gráfico normal com envelope do modelo ajustado

```
# Envelope binomial

#Função de Envelope binomial

envelope.binomialsr<-function(form=form,Fam=Fam,k=k,alfa=alfa){
  alfa1<-ceiling(k*alfa)
  alfa2<-ceiling(k*(1-alfa))
  glm1<-glm(formula=form,family=Fam,maxit=50)
  X<-model.matrix(glm1)
  w<-glm1$weights
  W<-diag(w)
  H<-sqrt(W)%*%X%*%solve(t(X)%*%W%*%X)%*%t(X)%*%sqrt(W)
  h<-diag(H)
  n<-nrow(X)
  rd<-resid(glm1,type="deviance")
  phi<-1
  td<-rd*sqrt(phi/(1-h))
  re<-matrix(0,n,k)
  for(i in 1:k){
```

```

dif<-runif(n)-fitted(glm1)
dif[dif>=0]<-0
dif[dif<0]<-1
nresp<-dif
fit<-glm(nresp~-1+X,family=Fam,maxit=50)
w<-fit$weights
W<-diag(w)
H<-sqrt(W)%*%X%*%solve(t(X)%*%W%*%X)%*%t(X)%*%sqrt(W)
h<-diag(H)
re[,i]<-sort(resid(fit,type="deviance")*sqrt(phi/(1-h)))
      }
e1<-numeric(n)
e2<-numeric(n)
for(i in 1:n){
eo<-sort(re[i,])
e1[i]<-eo[alfa1]
e2[i]<-eo[alfa2]
      }
xb<-apply(re,1,mean)
faixa<-range(td,e1,e2)
par(pty="s")
qqnorm(e1,axes=F,xlab="",ylab="",type="l",ylim=faixa,lty=1)
par(new=TRUE)
qqnorm(e2,axes=F,xlab="",ylab="",type="l",ylim=faixa,lty=1)
par(new=TRUE)
qqnorm(xb,axes=F,xlab="",ylab="",type="l",ylim=faixa,lty=2)

```

```
par(new=TRUE)
qqnorm(td,xlab="Percentis da N(0,1)",ylab="Residuo
Componente do desvio",ylim=faixa)
}
```