

Metodologias de Previsão de Balneabilidade e sua Aplicação na Gestão da Qualidade da Água Destinada à Recreação

Fabio Muller Hirai*, Monica Ferreira do Amaral Porto*

fhirai@usp.br; mporto@usp.br

Recebido: 06/01/14 - revisado: 18/02/14 - aceito: 07/04/14

RESUMO

Metodologias de previsão de balneabilidade complementam a gestão de águas recreacionais baseada no monitoramento e avaliação da concentração de bactérias indicadoras fecais na água. Através da compilação de informações existentes em artigos científicos e referências internacionais, são apresentados resumidamente os conceitos, detalhes de construção e operação, vantagens, desvantagens e exemplos da aplicação de três metodologias existentes: Níveis Limiares de Precipitação, Modelos Estatísticos e Modelos Determinísticos.

Palavras-chave: Balneabilidade, Modelos Estatísticos, Modelos Determinísticos, Níveis Limiares de Precipitação.

INTRODUÇÃO

O uso de corpos hídricos naturais para recreação de contato primário pode trazer uma série de perigos à saúde, principalmente a exposição a microrganismos patogênicos eventualmente presentes em altas concentrações na água. As condições de balneabilidade em águas brasileiras são avaliadas e classificadas a partir do monitoramento da concentração de bactérias indicadoras fecais na água, podendo ser coliformes termotolerantes, *E. coli* ou enterococos, conforme disposições da Resolução Conama n° 274 de 2000 (BRASIL, 2001). A principal limitação das tradicionais técnicas de análises microbiológicas é o tempo necessário para se obter os resultados, que pode chegar até 48 horas (CETESB, 2010); dessa maneira, no instante em que são conhecidas as concentrações de indicadores fecais na água da praia, a exposição ao perigo já ocorreu e a condição de balneabilidade muito provavelmente já mudou.

Para contornar essa limitação, no Brasil, a avaliação de balneabilidade é feita com base em um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas consecutivas anteriores ao instante em que se pretende classificar uma determinada praia. Isso significa que a recreação em locais com classificação de má condição de balneabilidade tem

maior probabilidade de causar prejuízos à saúde, pois há maior probabilidade de haver altas concentrações de microrganismos patogênicos, considerando o retrospecto das condições monitoradas. Ademais, a Resolução Conama n° 274 de 2000 também define padrões para amostras individuais, ou seja, caso uma análise indique concentração de indicadores muito alta (acima do padrão de amostra única), a praia é classificada como imprópria para o banho.

Uma interessante abordagem alternativa, complementar à avaliação microbiológica tradicional, que vem sendo desenvolvida e empregada efetivamente em alguns países, é o uso de metodologias que permitem estimar as condições de qualidade microbiológica da água a partir de variáveis ambientais aplicadas em modelos empíricos de correlação estatística ou em modelos matemáticos determinísticos. Esse artigo busca apresentar conceitos e detalhes das principais metodologias de predição hoje aplicadas com relativo sucesso.

NÍVEIS LIMIARES DE PRECIPITAÇÃO

Conceito

Na ocorrência de precipitação, o escoamento de drenagem transporta poluentes da superfície da bacia hidrográfica acumulados desde a última chuva (e.g. fezes de animais) e também cargas de esgoto oriundas de vazamentos na rede coletora ou de ligações clandestinas na rede de drenagem. Tan-

*Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/USP

to galerias pluviais, cursos d'água e o escoamento superficial não canalizado são considerados vias de transporte de bactérias indicadoras e patogênicas para as praias (ACKERMAN & WEISBERG, 2003; BOEHM et al., 2002).

Denominada como *Rain Threshold Levels* pela USEPA (1999), a agência de proteção ambiental norte-americana, a essência dessa metodologia é correlacionar a ocorrência de altas concentrações de bactérias indicadoras fecais na água com características de eventos de precipitação precedentes que ocorrem na praia ou a montante na bacia hidrográfica.

Assume-se que a magnitude e a duração da chuva determinam o volume de escoamento superficial e, portanto, as cargas de poluição que aportarão na praia; essa metodologia somente irá ter êxito se a principal fonte de poluição identificada for o escoamento superficial de drenagem e/ou a combinação de esgoto com águas pluviais, como fontes pontuais ou difusas.

Essa metodologia já é aplicada efetivamente em praias da Escócia (MCPHAIL & STIDSON, 2009) e dos Estados Unidos, incluindo praias em Connecticut, Delaware, Havaí, Califórnia, New Jersey, New York e Wisconsin (USEPA, 1999, 2010).

Construção e aplicação

O nível limiar de precipitação é a quantidade mínima de chuva correlacionada significativamente com a excedência na concentração de bactérias na água (quando a concentração de bactérias observada em uma amostra de água da praia excede o valor padrão de balneabilidade regulamentado, estando imprópria para banho), com determinada precisão. A magnitude desse nível pode variar de acordo com a intensidade da chuva, com a temporada do ano (seca ou chuvosa) e com o período seco que antecede o evento. Trata-se de uma metodologia simples, baseada em regressão ou análise da frequência de excedência em observações simultâneas da concentração de bactérias indicadoras fecais na água e dos níveis de precipitação obtidos por uma ou mais estações pluviométricas representativas. Características importantes a serem consideradas no seu desenvolvimento e aplicação incluem (USEPA, 1999):

- Quantidade precipitada
- Duração do evento
- Período seco entre eventos

- Tempo entre a ocorrência de chuva e o impacto na praia
- Temporada do ano em que a praia é mais freqüentada

Para calibração e validação, é necessária grande quantidade de dados pluviométricos e resultados de análises microbiológicas, referentes ao período do ano em que se deseja aplicá-la. O exercício de validação deve ser realizado em período independente à calibração e irá resultar na escolha dos níveis limiares mais apropriados.

Em bacias hidrográficas pequenas, é comum o uso de apenas uma estação pluviométrica que seja representativa, levando em conta sua localização e habilidade em capturar os eventos de precipitação significantes. Para maior precisão, são preferidas estações pluviométricas horárias, especialmente em casos de bacias hidrográficas pequenas e médias (USEPA, 1999), pois possibilitam determinar a intensidade dos eventos de chuva. Dependendo do número de estações pluviométricas e características dos eventos de precipitação a serem contemplados na metodologia de predição, será necessário utilizar técnicas de regressão múltipla para definir a relação estatística entre os parâmetros modelados e a qualidade da água.

Para aplicação no gerenciamento de uma praia, após a ocorrência de precipitação acima do nível limiar, pode-se emitir um alerta de qualidade, visando comunicar aos banhistas de um provável risco de contaminação microbiológica antes que entrem em contato com a água. É importante salientar que essa metodologia irá gerar uma predição sobre a concentração de indicadores, se está acima ou abaixo de um valor padrão de qualidade pré-estabelecido, e não uma estimativa numérica da concentração de indicadores na água (STIDSON et al., 2012).

A calibração da metodologia também deve ser direcionada para definir a duração da notificação, considerando o tempo entre a ocorrência de chuva e o impacto sobre a praia. Devido ao comportamento sazonal das atividades recreativas e das características das chuvas, a metodologia pode ser desenvolvida para diferentes temporadas, o que pode melhorar sua capacidade de predição.

Vantagens

Na prática, é uma metodologia simples. Os dados necessários podem ser adquiridos por redes de monitoramento de precipitação e balneabilidade.

de, as quais já existem, bastando apenas ajustá-las ao objetivo comum de calibração e operação da metodologia de predição. Requer ainda um software estatístico para executar regressões com os dados disponíveis de precipitação e qualidade da água. Sua aplicação também é trivial, bastando apenas coletar dados de precipitação em tempo real e compará-los com o nível limiar estabelecido; a emissão do alerta de má qualidade pode seguir um protocolo pré-determinado conforme especificações de temporada, período seco anterior e intensidade da precipitação que ocorrer.

Desvantagens

Os níveis limiares de precipitação devem ser periodicamente calibrados e validados, testando-se a eficácia de suas predições. A necessidade de grande quantidade de dados no seu desenvolvimento implica em um esforço de monitoramento extra por longos períodos antes de ser possível aplicar a metodologia, sendo prudente avaliar o custo-benefício de sua implantação.

Devido a sua natureza empírica, esse tipo de metodologia não diferencia fontes pontuais e difusas de poluição, não incorpora processos de transporte e decaimento e também não provê a distribuição espacial das bactérias no meio ambiente aquático (USEPA, 1999).

Outra desvantagem é que a aplicação fica restrita a praias onde a principal fonte de poluição é o escoamento de drenagem. Existem muitos outros fatores que influenciam as condições de balneabilidade de uma determinada praia, os quais não são contemplados por essa metodologia.

Exemplo de aplicação

Conforme publicações da USEPA (1999, 2010), nas praias da cidade americana de Stamford, CT, a correlação estatística significativa entre precipitação e níveis de bactérias foi obtida a partir de estudos realizados num período de 8 anos (de 1989 a 1996), sendo que a metodologia de predição opera desde 1990 (o banco de dados vai sendo constantemente atualizado para melhorar as capacidades preditivas).

Verificou-se que os níveis de Enterococos excediam regularmente os padrões de qualidade do Estado de Connecticut após chuvas iguais ou maiores que uma polegada (aprox. 25mm), em 24 horas, sob condições meteorológicas normais. Em condições secas, a ocorrência de 0,5 polegada (aprox. 13mm) ou mais de precipitação apresentou corre-

ção significativa com a excedência dos padrões de qualidade, permitindo assim a emissão de alertas para o fechamento do acesso às praias, por parte das autoridades responsáveis.

MODELOS ESTATÍSTICOS

Conceitos

Modelos estatísticos para predição de balneabilidade vêm recebendo maior atenção desde a última década, sendo a grande maioria desenvolvida com base em regressão linear múltipla. A metodologia assume a existência de correlação linear entre parâmetros (ou a combinação desses) que descrevem as condições ambientais e os níveis de concentração de bactérias indicadoras fecais na água (BOEHM et al., 2007; OLYPHANT & WHITMAN, 2004; NEVERS & WHITMAN, 2005). O conceito dessa abordagem é empregar uma correlação retrospectiva das condições de balneabilidade com parâmetros ambientais observados no momento em que houve a amostragem de água, de maneira a estimar a qualidade da água da praia antes que seja utilizada para recreação.

As variáveis ambientais típicas utilizadas devem ser preferencialmente de fácil mensuração e incluem: condições meteorológicas como radiação solar, temperatura do ar, precipitação, direção e intensidade de ventos; parâmetros de qualidade da água como turbidez, pH, temperatura, condutividade/salinidade, oxigênio dissolvido; condições hidrodinâmicas como vazão, altura de ondas e marés; dia do ano; número de pássaros, de animais e de banhistas presentes na praia (FRANCY & DARNER, 2006; USEPA, 2010).

O avanço significativo no desenvolvimento e implantação desse tipo de metodologia tem ocorrido especialmente na região dos Grandes Lagos nos Estados Unidos, sendo que já existem modelos estatísticos que operam com sucesso em praias dessa região, demonstrando ser uma metodologia rápida e eficiente para prever concentrações de bactérias na água das praias (FRANCY, 2009; NEVERS & WHITMAN, 2005).

Em praias onde as fontes de poluição predominantes são difusas ou não identificadas, os modelos estatísticos baseados em variáveis ambientais podem ser os mais apropriados para se estimar as condições de balneabilidade (FRANCY & DARNER, 2006; GE & FRICK, 2007).

Construção e aplicação

Um modelo estatístico é estabelecido no seguinte formato:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + E$$

Onde Y , a variável resposta, é a concentração de indicadores fecais a ser estimada; X_n são as variáveis explanatórias como precipitação, turbidez, etc.; b_n são os coeficientes de regressão; b_0 é o intercepto do modelo; E é a variação randômica (erro), assumido como variável independente e identicamente distribuída (frequentemente adotado como distribuição normal), com média igual a zero e um valor de desvio padrão σ_E . Caso Y e X_n não possuam relação linear, ambos podem ser transformados por funções log, log normal, raiz quadrada, ou qualquer outro tipo de transformação que garanta a existência de relação linear entre as variáveis. Devido à grande variabilidade, é comum transformar dados de concentrações microbiológicas em valores de logaritmos.

Utilizam-se dados históricos e recentes das densidades de indicadores fecais na água e das variáveis ambientais consideradas para se estabelecer a correlação linear, devendo o banco de dados ser atualizado conforme a aquisição de novas informações. Para a construção do modelo é imprescindível que as observações das variáveis ambientais explanatórias estejam associadas com o instante da amostragem de água.

A validação do modelo, ou seja, a verificação da correspondência entre as previsões obtidas no modelo estatístico e as reais observações das condições da praia, é a etapa final para se avaliar a eficiência e confiabilidade da metodologia de previsão na prática. Para tanto, utilizam-se conjuntos de dados que não foram empregados na calibração do modelo (BOEHM et al., 2007; FRICK et al., 2008). Os resultados obtidos por modelos estatísticos podem ser os níveis estimados de concentração de indicadores fecais na água ou a probabilidade de excedência de padrões de qualidade estabelecidos (USEPA, 2010).

Foi verificado em estudos científicos que separar as temporadas de recreação em diferentes períodos pode produzir modelos com melhores capacidades preditivas (FRANCY & DARNER, 2006), já que a dinâmica dos microrganismos na água pode ser influenciada por diferentes fatores ambientais, dependendo das condições seca ou chuvosa (BOEHM et al., 2007).

Vantagens

Uma vez estabelecidos, modelos estatísticos podem ser aplicados no instante em que se desejar, bastando adquirir dados dos parâmetros ambientais contemplados e rodar o modelo de regressão. Muitos parâmetros são fáceis de monitorar, como a vazão, temperatura, turbidez, etc; para calibração, podem ser analisados no instante da amostragem de água sem maiores entraves técnicos e financeiros.

Modelos calibrados e validados podem dar uma estimativa sólida da condição de balneabilidade, possibilitando alertar as pessoas sobre eventuais riscos de contaminação microbiológica antes da exposição.

Desvantagens

Olyphant (2005) observou que o método utilizado por ele para desenvolver modelos estatísticos pode ser aplicado em diversas praias, porém cada modelo é único e requer calibrações específicas de cada local, ou seja, suas análises de correlações mostraram que não há um conjunto único de variáveis explanatórias que pudesse ser aplicado com sucesso em todas as praias estudadas. Logo, cada praia demanda um modelo independente.

É necessária uma quantidade suficiente de dados para se obter boa calibração dos modelos e, se houver mudanças significativas em relação aos parâmetros ambientais considerados como variáveis explanatórias do modelo, será preciso obter novos conjuntos de dados para calibrá-lo novamente (HEBERGER et al., 2008). Mudanças podem ocorrer devido a alterações no uso do solo na bacia, degradação ou melhorias na infra-estrutura sanitária, adição ou remoção de fontes pontuais de poluição, entre outras que possam influenciar a densidade de indicadores fecais na praia. Mesmo que não haja mudanças acentuadas na bacia hidrográfica ou na localização geográfica próxima à praia, é prudente avaliar o desempenho de um modelo estatístico ao longo do tempo para verificar a queda de sua eficiência (USEPA, 2010).

Exemplo de aplicação

De acordo com Francy (2009), o sistema de previsão de balneabilidade do Estado de Ohio, nos EUA (The Ohio Nowcast), opera desde 2006 para a praia de Huntington, ao sul do lago Erie, em Bay Village, subúrbio de Cleveland. Neste caso, o modelo de regressão linear múltipla foi desenvolvido para operar durante a temporada de recreação

(final de maio a começo de setembro), com base em dados dos anos de 2000 a 2006, e considera diversas variáveis explanatórias como a altura de onda, o logaritmo da turbidez, a precipitação mensurada por estação pluviométrica e radar, e o dia do ano. Os parâmetros do modelo são constantemente atualizados, conforme dados coletados das temporadas de recreação em anos anteriores.

O resultado que se obtém da modelagem é a probabilidade de excedência do padrão de qualidade da água para amostra única, estabelecido no Estado como 235 UFC.100ml⁻¹ de *Escherichia coli*. A probabilidade limite foi estabelecida em 30%, associada como um risco muito alto para permitir a recreação na praia, possibilitando assim a emissão de um alerta de qualidade da água para o banho, direcionada aos banhistas, ou mesmo a recomendação de fechamento do acesso à praia.

MODELOS DETERMINÍSTICOS

Conceitos

Modelos determinísticos utilizam representações matemáticas dos processos que afetam as densidades de bactérias na água para prever a excedência dos padrões de qualidade. Algoritmos são aplicados para refletir a influência de processos naturais determinantes às condições de balneabilidade, tais como a entrada, o transporte e decaimento dos microrganismos de interesse no meio ambiente, de acordo com as características fisiográficas da praia.

Uma importante distinção entre modelos estatísticos e modelos determinísticos é que em modelos estatísticos, a relação entre qualidade da água e variáveis explanatórias não precisa estar de fato determinada, enquanto que em modelos determinísticos, o sistema modelado precisa ser conhecido integralmente ou parcialmente, pois é a aplicação dos algoritmos que refletem os processos naturais que irá fazer o modelo operar de fato (USEPA, 2010).

Construção e aplicação

Existem vários tipos de modelos determinísticos para aplicação em recursos hídricos, não necessariamente desenvolvidos para prever condições de balneabilidade. Inclui modelos de zonas de mistura, transporte e decaimento e modelos hidrodinâmicos. Por exemplo, existem os modelos americanos CORMIX, EFDC (Environmental Fluid Dy-

namics Code), HSPF (Hydrological Simulation Program—Fortran), PLUMES, QUAL2E, Regional Bypass Model, SMTM (Simple Mixing and Transport Model), STORM, SWMM (Storm Water Management Model), e TPM (Tidal Prism Model) (USEPA, 1999, 2010).

Cursos d'água são os sistemas ideais para desenvolver e aplicar modelos determinísticos, pois o conhecimento de processos fluviais de transporte e mistura já está bem consolidado (USEPA, 2010). Em casos onde a contaminação fecal da praia provém principalmente de fontes pontuais de poluição, os modelos determinísticos podem ser aplicados com relativo sucesso (USEPA, 1999).

O desenvolvimento de modelos determinísticos requer estudos detalhados que possibilitem caracterizar as condições de contorno do modelo, as particularidades fisiográficas da praia, a entrada e transporte de cargas de poluição no corpo hídrico e os processos cinéticos de decaimento dos microrganismos.

Vantagens

Diversos modelos determinísticos já existem e podem ser ajustados e aplicados em casos onde sua calibração, validação e operação forem possíveis. Geralmente operam bem em locais impactados por fontes pontuais de poluição controladas, como o lançamento de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto, por exemplo.

Desvantagens

Esses modelos demandam grande conhecimento e esforço para serem implantados e operados de forma confiável, com a devida eficácia para proteção da saúde pública. A quantidade significativa de dados de input necessária para os modelos determinísticos funcionarem pode ser de difícil obtenção ou simplesmente não possuir custo-benefício (HEBERGER et al., 2008).

Outro problema é a complexidade de se desenvolver novos modelos, que pode requerer a compreensão de processos físicos, biológicos, hidrodinâmicos, meteorológicos, e suas interações (GE & FRICK, 2007). Ademais, mesmo que uma metodologia esteja suficientemente desenvolvida, sua aplicação pode demandar muitos recursos, desde medições meteorológicas em tempo real até dados da geometria e fisiografia detalhada da praia. Calibrar e aplicar um modelo para uma praia em particular pode ser tão desafiador quanto desenvolvê-lo. De acordo com USEPA (2010), porém, há

grande potencial de aplicação de modelos determinísticos em combinação com modelos estatísticos, de forma a melhorar a qualidade dos resultados obtidos através dessa metodologia.

Exemplo de aplicação

De acordo com Chan et al. (2013), em Tsuen Wan, Hong Kong, foi desenvolvido um modelo determinístico 3D com objetivo de prever diariamente a qualidade da água em oito praias litorâneas, sujeitas a impactos de cargas pontuais de lançamento de esgoto, parcialmente tratado por desinfecção, e cargas difusas da drenagem pluvial.

A metodologia considera complexos algoritmos para modelar a mistura, o transporte e a dispersão do efluente despejado por emissários submarinos no ambiente oceânico, bem como taxas de decaimento de *E. coli* no tempo e espaço, obtidas especificamente para as águas subtropicais de Hong Kong.

O modelo é de grande importância para a interpretação da complexa variação da qualidade da água nas praias, que depende ainda do nível de maré, incidência de radiação solar e outros fatores hidrológicos e meteorológicos. Ademais, também é empregado para otimizar o processo de desinfecção do efluente de esgoto despejado e a resposta a situações emergenciais (e.g. falha no tratamento do efluente e posterior lançamento in natura).

As previsões geradas pelo modelo têm sido extensamente validadas com dados obtidos em campo; durante o período de agosto a novembro de 2011, o modelo apresentou precisão de 81% a 91% na previsão de boas e más condições de balneabilidade, respectivamente, conforme os critérios estabelecidos no país.

CONCLUSÕES

O Brasil é um país rico em recursos hídricos utilizados para recreação, sendo um importante atrativo turístico, economicamente relevante a determinadas regiões do país. Porém, pouca atenção tem sido dada à questão da balneabilidade, visto que a vigente Resolução do Conama que dispõe sobre o assunto data do ano de 2000. A ciência acerca de diversos temas que compõem essa questão vem avançando significativamente ao longo dos anos e, hoje, a Resolução Conama nº 274/2000 pode ser considerada defasada em disposições como o uso do indicador fecal coliformes termotole-

rantes; valores padrões iguais para águas doces, salgadas e salobras; e o critério percentual de avaliação do monitoramento (HIRAI & PORTO, 2012).

As metodologias de predição são úteis à gestão de balneabilidade por possibilitarem alertar os banhistas sobre possíveis riscos microbiológicos antes que entrem em contato com a água, bem como subsidiar decisões das autoridades responsáveis em fechar o acesso a uma praia severamente impactada. Essas metodologias complementam o monitoramento regular de bactérias indicadoras fecais na água, tal como já é realizado, e não devem substituí-lo integralmente (FRANCY & DARNER, 2006).

Conforme apresentado, as metodologias variam muito em termos de abordagem e complexidade de desenvolvimento, calibração e operação. Níveis limiares de precipitação e modelos estatísticos são metodologias de natureza empírica enquanto que modelos determinísticos requerem o conhecimento e domínio matemático dos sistemas ambientais alvos da modelagem; todas as metodologias demandam grande quantidade de dados coletados num longo período para serem devidamente calibrados e validados. A escolha de qual delas utilizar irá depender de cada caso em particular, levando-se em conta as características da praia e das fontes de poluição, bem como análises de custo-benefício do seu desenvolvimento e eficaz implantação e operação.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, D.; WEISBERG, S. B. Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *Journal of Water and Health*, IWA Publishing, v.1, n.2, p.85-89, Jun 2003.

BOEHM, A. B.; GRANT S. B.; KIM J. H.; MOWBRAY, S. L.; MCGEE, C. D.; CLARK, C. D.; FOLEY, D. M.; WELLMAN, D. E. Decadal and Shorter Period Variability of Surf Zone Water Quality at Huntington Beach, California. *Environmental Science & Technology*, v.36, n.18, p.3885-3892, 2002.

BOEHM, A. B.; WHITMAN, R. L.; NEVERS, M. B.; HOU, D.; WEISBERG, S. B. Nowcasting recreational water quality. In: WYMER, L. J. [Ed.] *Statistical Framework for Recreational Water Quality Criteria and Monitoring*. Wiley-Interscience, Chichester, West Sussex, England, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274, de 29 de novembro de

2000. Dispõe sobre os critérios de balneabilidade em águas. *Diário Oficial da União*: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, nº18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 70-71. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 3 jan. 2011.
- CHAN, S. N.; THOE, W.; LEE, J. H. W. Real time forecasting of Hong Kong beach water quality by 3D deterministic model. *Water Research*. v.47. p. 1631-1647. 2013.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2009*. São Paulo, 2010, 310 p. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2011.
- FRANCY, D. S. Use of predictive models and rapid methods to nowcast bacteria levels at coastal beaches. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, v.12, n. 2, p.177–182, 2009.
- FRANCY, D. S.; DARNER, R. A. *Procedures for developing models to predict exceedances of recreational water-quality standards at coastal beaches*. 2006. 34 p. (United States Geological Survey Techniques and Methods 6–B5). Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/tm/2006/tm6b5/>>. Acesso em 18 out. 2011.
- FRICK, W. A., GE, Z.; ZEPP, R. G. Nowcasting and forecasting concentrations of biological contaminants at beaches: A feasibility and case study. *Environmental Science and Technology*, v. 42, n.13, p. 4218–4824, 2008.
- GE, Z.; FRICK, W. E. Some statistical issues related to multiple linear regression modeling of beach bacteria concentrations. *Environmental Research*, v.103, p. 358–364, 2007.
- HEBERGER, M. G.; DURANT, J. L.; ORIEL, K. A.; KIRSHEN, P. H.; MINARDI, L. Combining Real-time bacteria models and uncertainty analysis for establishing health advisories for recreational waters. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 134, n. 1, 2008.
- HIRAI, F. M.; PORTO, M. F. A. Análise comparativa entre regulamentações para avaliação de balneabilidade. In: XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2012, João Pessoa. *Anais....* Paraíba: ABRH, 2012.
- McPHAIL, C. D.; STIDSON, R. T. Bathing Water Signage and Predictive Water Quality Models in Scotland. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, v.12, n.2, p.183-186, 2009.
- NEVERS, M. B.; WHITMAN, R. L. Nowcast modeling of *Escherichia coli* concentrations at multiple urban beaches of southern Lake Michigan. *Water Research*, v.39, p.5250–5260, 2005.
- OLYPHANT, G. A. Statistical basis for predicting the need for bacterially induced beach closures: Emergence of a paradigm? *Water Research*, v. 39, p.4953-4960, 2005.
- OLYPHANT, G. A.; WHITMAN, R. L. Elements of a predictive model for determining beach closures on a real time basis: The case of 63rd Street Beach Chicago. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.98, p.175–190, 2004.
- STIDSON, R. T.; GRAY, C. A.; McPHAIL, C. D. Development and use of modeling techniques for real-time bathing water quality predictions. *Water and Environment Journal*, v. 26, n.1, p.7-18, 2012.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Review of Potential Modeling Tools and Approaches to Support the BEACH Program*. Office of Science and Technology. Standards and Applied Division. Washington, DC. 1999. 42p. Disponível em: <http://water.epa.gov/type/oceb/beaches/upload/2006_06_19_beaches_report.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2011.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Predictive Tools for Beach Notification*. Office of Water. Office of Science and Technology. 2 v. Nov. 2010. Disponível em: <<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/recreation/>>. Acesso em: 22 jul. 2011.

Predictive Tools For Bathing Waters And Practical Application In The Management Of Bathing Water Quality

ABSTRACT

Predictive tools for bathing water quality complement bathing water management based on monitoring and evaluation of fecal bacteria concentration indicators in water. By compiling existing information on international scientific articles and references, concepts, operational and construction details, strengths, weaknesses and examples of application of three types of predictive tools are briefly presented, including Rain Threshold Levels, Statistical Models and Deterministic Models.

Key-words: *Predictive Tools, Statistical Model, Deterministic Model, Rain Threshold Levels.*