

IV-220 - SIMULAÇÃO DA BALNEABILIDADE DE LAGO POR MEIO DE MÉTODOS DE EXTRAPOLAÇÃO EM AMBIENTE SIG

Carlo Renan Cáceres de Brites⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre e Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília. Analista em Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Professor do curso de Engenharia Civil do UDF Centro Universitário.

Marcelo Augusto Sales da Silva

Engenheiro Sanitarista e Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso. Especialista em Estatística Aplicada pelo Grupo Cruzeiro do Sul e Gestão de Projetos em Engenharia e Arquitetura. Técnico em Sistemas de Saneamento pela Companhia de Saneamento Ambiental pelo Distrito. Professor dos cursos de Engenharia Civil e Mecânica do UDF Centro Universitário e Engenharia Civil do UNIPLAN – Centro Universitário do Planalto Central.

João Lucas do Carmo Ponciano

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade de Brasília. Estagiário da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

Endereço⁽¹⁾: Setor das Áreas Isoladas Norte. Área Especial, Estação de Tratamento de Água da Caesb, PRHR, Bloco A. Asa Norte. Brasília-DF. Email: carlobrites@caesb.df.gov.br (+55) 61 3214-7963

RESUMO

Os métodos geoestatísticos foram desenvolvidos graças aos estudos do engenheiro de minas Georges Matheron, na França, no final da década de 1950 e no início dos anos 1960. Estes métodos estão fundamentados na Teoria das Variáveis Regionalizadas, formalizada por Matheron a partir de estudos desenvolvidos por Daniel G. Krige, concluindo que a variância espacial dos dados possuía uma estruturação que dependia da distância entre amostragens. Modernamente, esses métodos são aplicados aos mais diversos domínios das ciências da terra e do ambiente, os quais são caracterizados por um acentuado grau de incerteza. A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb, executa um programa contínuo e sistemático de observação e avaliação das características de qualidade das águas do Lago Paranoá. Dentre outros, um dos principais objetivos do monitoramento é informar à comunidade sobre as condições de Balneabilidade do Lago Paranoá, segundo a Resolução CONAMA nº 274/2000. Pensando na aplicabilidade de métodos geoestatísticos e na possibilidade de se espacializar dados pontuais, foram utilizados quatro métodos geoestatísticos como proposta de simulação de Balneabilidade. Foram usados Krigagem, Tendência Linear, Spline e IDW. Apesar da diferença encontrada dentre as plumas de contaminação quando da utilização diferentes métodos geoestatísticos, percebe-se a potencialidade do uso dessas ferramentas na espacialização da informações pontuais. Para validação do estudo sugere-se que sejam realizadas coletas e análises de *E. coli* baseado nos resultados dos métodos estatísticos afim de que se confirme o melhor método/cominação de métodos para representação/simulação da balneabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Balneabilidade, Krigagem, IDW, Spline

INTRODUÇÃO

A Caesb executa um programa contínuo e sistemático de observação e avaliação das características limnológicas do Lago Paranoá. O monitoramento tem como objetivos (i) Avaliar a adequabilidade ou não das águas superficiais do Lago Paranoá à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), (ii) Informar a comunidade das áreas próprias e impróprias a balneabilidade do Lago Paranoá, com base no parâmetro *Escherichia coli*, segundo a frequência de coleta e metodologia de análise dos resultados proposta na Resolução CONAMA nº 274/2000, (iii) Subsidiar medidas de restauração do ecossistema aquático, especialmente no que diz respeito à localização de eventuais ligações clandestinas de esgotos domésticos que afluem diretamente ao lago ou via galerias de águas pluviais (Caesb 2015). Desde 1974 a Caesb acompanha os níveis de poluição do Lago Paranoá. Atualmente o monitoramento é feito de forma semanal, em 9 pontos, e mensal em 32 pontos amostrados em áreas marginais.

Contudo, por mais amplo que seja o monitoramento da Balneabilidade e, ainda, indicar claramente o nível de poluição do Lago, este evidencia situações pontuais. Para que se possa espacializar as informações do programa de monitoramento, há de se encontrar alguma maneira para extrapolar e/ou simular os dados de balneabilidade.

Myers (1994) e Laslett (1994) fizeram uma abordagem geral de métodos utilizados para interpolação espacial de parâmetros em áreas de pesquisa como ciência do solo, ecologia, engenharia florestal, hidrologia e meteorologia, destacando-se a krigagem (ou interpolação geoestatística) como um preditor em potencial de inúmeros parâmetros nestas áreas. Dirks *et al.* (1998) trabalharam com alguns interpoladores espaciais para chuvas anuais, mensais, diárias e horárias para a Ilha de Norfolk na Nova Zelândia. Os pesquisadores concluíram que os métodos krigagem e inverso do quadrado da distância sobressaíram em relação a polígonos de Thiessen, splines cúbicas e inverso da distância.

Os métodos geoestatísticos foram desenvolvidos graças aos estudos do engenheiro de minas Georges Matheron, na França, no final da década de 1950 e no início dos anos 1960. Estes métodos estão fundamentados na Teoria das Variáveis Regionalizadas, formalizada por Matheron a partir de estudos desenvolvidos por Daniel G. Krige, concluindo que a variância espacial dos dados possuía uma estruturação que dependia da distância entre amostragens. Modernamente, esses métodos são aplicados aos mais diversos domínios das ciências da terra e do ambiente, os quais são caracterizados por um acentuado grau de incerteza. Sua aplicação tem tido grande êxito em razão da solução de diferentes problemas práticos, bem como da valorização e planejamento de recursos naturais, tais como florestas, recursos geológicos, minerais, ecológicos, e, em particular, recursos hídricos (Bagnara, 2012).

Com relação aos métodos geoestatísticos, Mello *et al.* (2003) utilizaram krigagem e o inverso do quadrado da distância para espacialização e interpolação de dados de chuva em no estado de São Paulo, que foram comparados com 140 estações pluviométricas. Nesse caso, a krigagem apresentou menores erros médios. Marcuzzo *et al.* (2009) utilizaram os métodos krigagem e spline para simulação de dados de pluviometria baseado em dados de 26 estações na região de Goiânia e entorno.

Já Bagnara *et al.* (2012) utilizaram a krigagem na modelagem dos parâmetros pH e dureza em águas subterrâneas na área central do município de Passo Fundo (RS) baseado em comportamentos de 123 poços profundos. Comprovaram o potencial de uso de métodos geoestatísticos no monitoramento e simulação de águas subterrâneas.

Com relação ao método IDW (distância inversa com pesos), este é um método no qual o valor das células é determinado a partir de uma combinação linear com pesos, de uma determinada amostra de pontos, onde o peso é em função do inverso da distância. No método, assume-se que a variável que está sendo mapeada decresce inversamente proporcional à distância de outra amostra considerada (ESRI, 2014).

Sobre o método Spline, ESRI (2014) considera que se encaixa uma função matemática para um número específico de pontos de entrada mais próximos, enquanto passa pelos pontos de amostragem. Usa uma equação matemática para minimizar as curvaturas das superfícies. Este método é melhor para a geração de superfícies tais como elevação, altura do lençol freático, ou concentrações de poluição.

Na Krigagem assume-se que a distância entre os pontos ou direção reflete uma correlação espacial que pode ser utilizada para explicar a variação na superfície. A ferramenta Krigagem encaixa uma função matemática de um determinado número de pontos, ou de todos os pontos dentro de um raio específico, para determinar o valor de saída para cada local. Krigagem é um processo em várias etapas; inclui análise exploratória estatística dos dados, modelagem de variograma, criando a superfície, e (opcionalmente) explorar uma superfície de variância. Krigagem é mais apropriado quando você sabe que há uma distância espacialmente correlacionada ou viés direcional nos dados. Ele é frequentemente usado em ciência do solo e geologia (ESRI 2014)

No método de tendência linear cria-se um raster de ponto flutuante. Ele usa uma regressão polinomial para ajustar uma superfície de mínimos quadrados para os pontos de entrada. A opção LINEAR permite controlar a ordem do polinômio usado para ajustar a superfície. Considera um polinômio de primeira ordem. A interpolação de superfície de tendência linear de primeira ordem executa o método dos mínimos quadrados para o conjunto de pontos de entrada. (ESRI, 2014).

Pensando na aplicabilidade de métodos geoestatísticos e na possibilidade de se espacializar dados pontuais, foram utilizados quatro métodos geoestatísticos como proposta de simulação da Balneabilidade do Lago Paranoá.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é comparar diferentes métodos de extrapolação de dados, em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para simulação da condição de balneabilidade em um lago, dando subsídio para posteriormente compará-los com dados obtidos em campo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Baseado na resolução Conama 274, de 29 de dezembro de 2000, é realizada rotineiramente o monitoramento de qualidade da água do Lago Paranoá em termos de presença de *E. coli* e pH. O monitoramento é feito em 32 pontos em locais onde o uso para recreação e esportes aquáticos é conhecido, conforme Figura 1.

Com base nesses pontos de monitoramento, baseado nos valores encontrados para *E. coli*, utilizou-se o pacote de ferramentas ArcGIS da ESRI, para as simulações conforme mostrado na Figura 2. Foram simuladas as condições de balneabilidade em datas que representem tanto o período chuvoso quanto o período de seca, tendo em vista que a balneabilidade pode variar sazonalmente.

Para o uso das ferramentas de geoestatística é necessário estabelecer algumas condições para que a interpolação/extrapolação de dados seja feita. Duas características principais são as condições de contorno, para a qual é necessário indicar até que local o método deve considerar para realizar interpolação e também qual a resolução espacial do *raster* que será gerado. Os métodos utilizados para extrapolação de dados e as condições de contorno e tamanho do pixel são mostrados na Tabela 1.

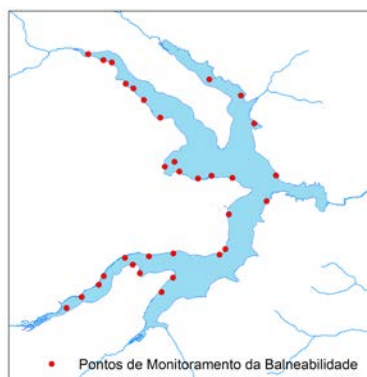


Figura 1 – Pontos de Monitoramento das condições da Balneabilidade no Lago Paranoá-DF

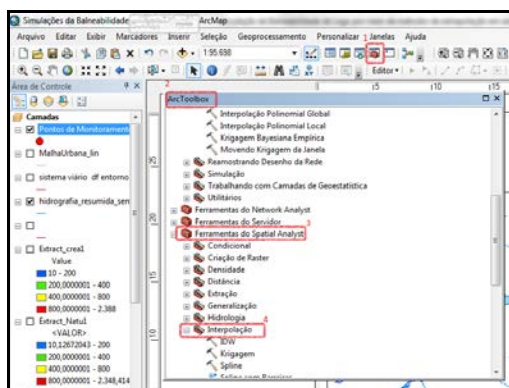


Figura 2 – Ferramentas utilizadas no software ArcGIS da ESRI

Tabela 1 – Métodos geoestatísticos utilizados nas simulações de condições de balneabilidade do Lago estudado.

Método	Condição de Contorno	Tamanho do pixel
IDW	Cota 1030 m	60 m
Krigagem	Cota 1030 m	60 m
Spline	Cota 1030 m	60 m
Tendência Linear	Cota 1030 m	60 m

RESULTADOS

As simulações de balneabilidade quando da utilização de alguns métodos indica a espacialização de valores de *E. coli* (pluma de contaminação) conforme Figura 3, 4, 5 e 6.

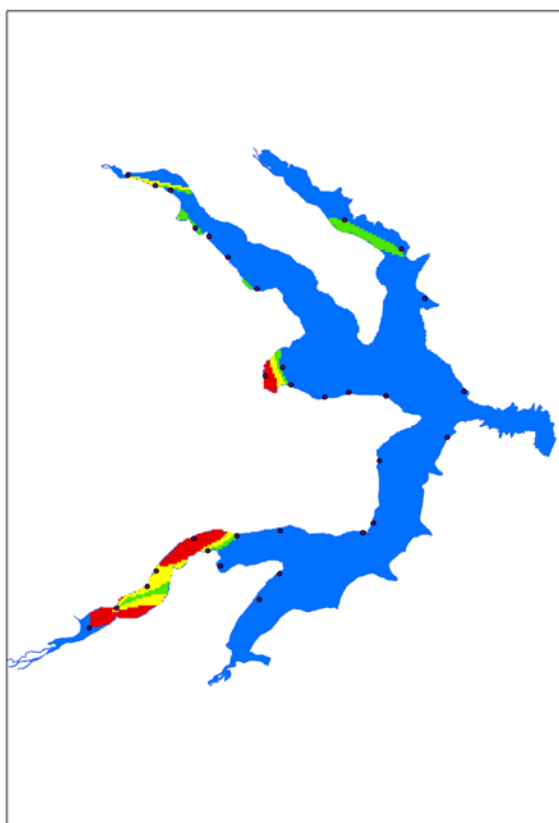


Figura 3 – Resultado da Simulação por Krigagem

(Legenda: Vermelho – Imprópria, Amarelo – Satisfatória, Verde – Muito Boa, Azul - Excelente)

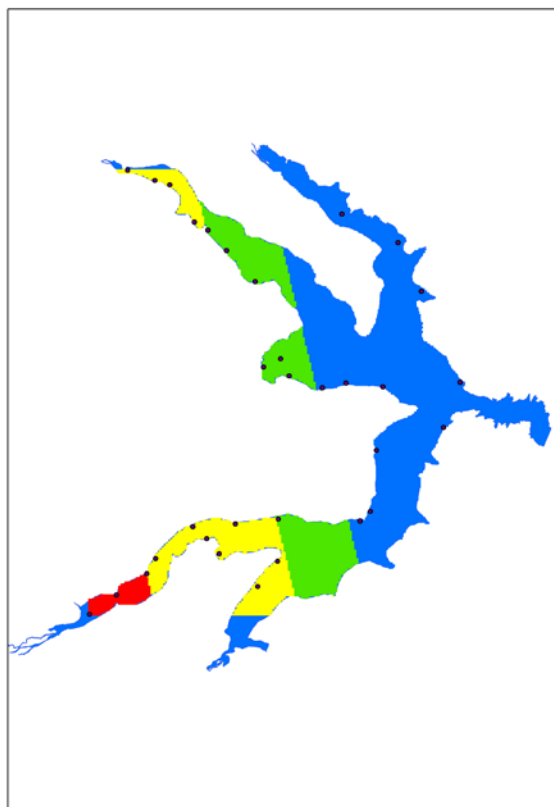


Figura 4 – Resultado da Simulação por Tendência Linear

(Legenda: Vermelho – Imprópria, Amarelo – Satisfatória, Verde – Muito Boa, Azul - Excelente)

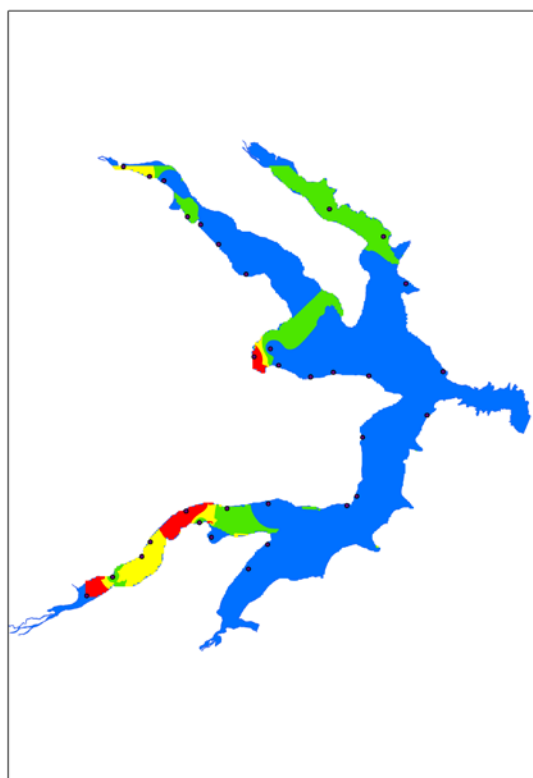


Figura 5 – Resultado da Simulação pelo método Spline

(Legenda: Vermelho – Imprópria, Amarelo – Satisfatória, Verde – Muito Boa, Azul - Excelente)

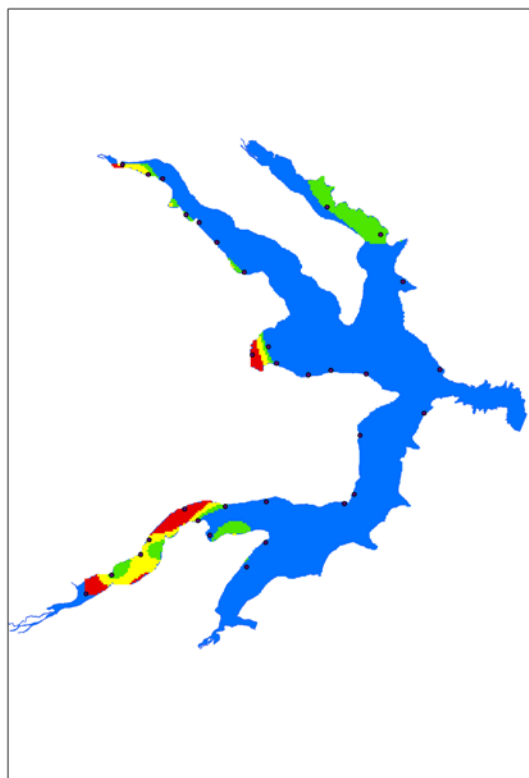


Figura 6 - Resultado da Simulação por IDW

(Legenda: Vermelho – Imprópria, Amarelo – Satisfatória, Verde – Muito Boa, Azul - Excelente)

CONCLUSÕES

Apesar da diferença encontrada dentre as plumas de contaminação quando da utilização diferentes métodos geoestatísticos (Krigagem, Tendência linear, Spline e IDW) percebe-se a potencialidade do uso dessas ferramentas na espacialização da informações pontuais.

O método Tendência Linear, conforme indicado em literatura, não deve representar a real espacialização de valores de *E. coli* para fins de balneabilidade. A utilização do método foi realizado para fins didático e de familiarização com a ferramenta.

Os métodos Krigagem, IDW e Spline, devem ser seriamente levados em conta pois, tendo em vista a sensibilidade da equipe envolvida com o monitoramento, os resultados apresentados por esses métodos podem representar situação próxima à realidade.

Dando prosseguimento ao trabalho, para confirmação dos resultados, serão realizadas coletas e análises de *E. coli* em locais que serão escolhidos baseado nos resultados dos métodos estatísticos afim de que se confirme o melhor método/combinação de métodos. Ou seja, onde houver indicação de alguma alteração de balneabilidade, serão realizadas coletas para confirmação do cenário simulado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bagnara, D.; Prietro, P.D.M.; Timbolla, R. S. (2012). Aplicação da krigagem ordinária na modelagem do pH e da dureza da água subterrânea na área central de Passo Fundo – RS. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.20, p.15-22
2. Brasil, (2000). Resolução nº 274 de 29 de novembro 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html> Acessado em 29/09/2014 às 14hs e 30 min.
3. Dirks, K.N.; Hay, J.E.; Stow, C.D. & Harris, D. (1998) Highresolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. *J. Hydrol.*, 208:187-193.
4. ESRI, (2014). ArcGIS Help Library. Environmental System Resoucers Institute. Disponível em <http://resources.arcgis.com/en/home/> acessado em 20 de setembro de 2014.
5. Laslett, G.M. (1994) Kriging and splines: an empirical comparison of their predictive perfomance in some applications. *J. Am. Stat. Assoc.*, 89:391-400.
6. Marcuzzo, F.F.N.; Cardoso, M. R. D.; Mello, L.T. A. (2009). Uso dos Métodos de Krigagem e Spline de Tensão no Mapeamento de Chuvas na Região Metropolitana de Goiânia e Seu Entorno. Disponível em www.cprm.gov.br acessado em 22 de setembro de 2014.
7. Mello, C. R.; Lima, J. R.; Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira M. S. (2003). Krigagem e Inverso do Quadrado da Distância para Interpolação dos Parâmetros Da Equação De Chuvas Intensas. *Revista Brasileira de Ciência de Solos*. 27: 925-933.
8. Myers, D.E. (1994) Spatial interpolation: an overview. *Geoderma*, 62:17-28.