

MODIFICAÇÃO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Luana Nunes Centeno¹, Samanta Tolentino Ceconello²

Msc em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas¹, Email: luanunesceneno@gmail.com;

Universidade Federal de Pelotas/Mestranda em desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais²

RESUMO: Atualmente é crescente preocupação não só com a quantidade, mas também com a qualidade da água. Fato este que impulsionou este estudo, no qual teve por objetivo desenvolver um Índice de Qualidade de Água Modificado (IQA_{mod}) a partir da análise de estatística multivariada, bem como identificar as possíveis fontes de poluição do Canal São Gonçalo, Pelotas, RS - Brasil. Para isso foram utilizados, dados de qualidade da água secundários, disponibilizados pela Fundação de Proteção Ambiental Henrique compreendidos entre os anos de 2005 a 2013. As variáveis de qualidade de água utilizadas foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5^{20}), Coliformes Termotolerantes (CT), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez (TH), pH, Temperatura da água (TH_2O) e Sólidos Totais (ST). Utilizou-se a técnica de estatística multivariada, Análise Fatorial (AF)/Análise de Componentes Principais (ACP). Através destas técnicas, encontram-se duas componentes principais (CP1 e CP2) que juntas explicaram 93% da variância total dos dados, sendo que a CP1 possivelmente está associada as atividades como despejos domésticos, pecuária e a ressuspensão de sedimentos oriundos do tráfego de navegações, bem como pode ser proveniente da erosão nas margens do manancial. Já a CP2 possivelmente está associada a despejos industriais e atividades agrícolas. Com relação ao emprego da AF/ACP para a modificação dos pesos observou-se que o maior peso foi empregado a variável NTK, de 0,17 seguida da variável PT que apresentou o peso de 0,16; devido a isso em determinados períodos o IQA_{mod} superestimou o IQA_{CETESB} , apresentando assim mudança de faixa do IQA_{mod} . Conclui-se, portanto, que é de suma importância a readequação dos pesos do IQA de acordo com a necessidade de cada manancial.

Palavras-chave: Canal São Gonçalo. Análise fatorial. Estatística multivariada.

MODIFICATION OF A WATER QUALITY INDEX

ABSTRACT: Is currently growing concern not only the quantity but also the quality of the water. This fact drove this study, which aimed to develop a Water Quality Index Modified (WQI_{mod}) from the multivariate statistical analysis and identify possible sources of pollution watercourse São Gonçalo, RS - Brazil. For that were used, quality data of secondary water, provided by the Environmental Protection Foundation Henry understood between the years 2005-2013. Water quality variables were used: Biochemical Oxygen Demand (BOD_5^{20}), Thermotolerant Coliforms (TC), Total Phosphorus (TP), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Dissolved Oxygen (DO), Turbidity (TH), pH, Water Temperature (H_2OT) and Total Solids (TS). We used a multivariate statistical technique, factor analysis (FA)/Principal Component Analysis (PCA); through these techniques met two main components which together explained 93% of the total variance of the data, and the CP1 is possibly associated activities as domestic sewage, livestock and resuspension of sediments coming from navigations traffic and may come erosion on the banks of spring. Already CP2 is possibly associated with industrial waste and agricultural activities. Regarding the use of AF/ACP for the modification of the weights it was observed that the greatest weight was employed TKN variable of 0.17 followed by the variable TP presented the weight 0.16; due to that at certain times the WQI_{mod} overestimated the WQI_{CETESB} , thus presenting change WQI_{mod} band. It follows therefore that it is of paramount importance to upgrading of WQI weights, according to the need of each stock.

Keywords: Watercourse São Gonçalo. Factor analysis. Multivariate statistics.

INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos hídricos ocorre de maneira cada vez mais acelerada, tornando assim indispensável o monitoramento ambiental da qualidade da água das bacias hidrográficas em que o corpo hídrico principal é utilizado para o abastecimento público e

para a produção de bens e de consumo seja por parte das indústrias e ou do comércio.

Através do monitoramento dos recursos hídricos é possível fornecer uma indicação das alterações induzidas pelas atividades antrópicas; compreender os processos naturais do corpo hídrico e também avaliar a adequação dos recursos hídricos para os usos pretendidos (BRAGA et al., 2015; HELLER; PÁDUA, 2010, LIBÂNIO, 2010).

Os diversos usos consuntivos dos mananciais superficiais vêm provocando alterações nas relações bióticas. Estas relações ocorrem nos corpos d'água, através das interações qualitativas e quantitativas (SPERLING, 2005). Por este motivo é indispensável o monitoramento da qualidade da água para se obter uma visão geral da dinâmica dos corpos hídricos (LIBÂNIO, 2010).

Para tal se torna necessário o uso de ferramentas que possibilitem auxiliar neste processo e que permitam ao pesquisador tomar decisões adequadas para a conservação do ambiente natural.

Dentre as ferramentas utilizadas para esse fim, se encontram a estatística multivariada e o índice de qualidade da água (AL-MUTAIRI; ABAHUSSAIN; EL-BATTAY, 2014; SPERLING, 2007).

A estatística multivariada vem sendo empregada em inúmeros estudos relacionados com a qualidade da água (IANG,

2004; LIBÂNIO, 2010; MORETTO et al., 2012; OLSEN; CHAPPELL; LOFTIS, 2012).

Dentre as técnicas de estatística multivariada utilizadas para este fim, encontram-se a Análise Fatorial/ Análise de Componentes Principais (AF/ACP), que tem como finalidade, segundo Corrar, Paulo e Filho (2014) estudar as inter-relações existentes entre as variáveis empregadas no estudo, buscando a sua sumarização, ou seja, encontrar um meio de reduzir as variáveis contidas no estudo através da formação de um conjunto menor de variáveis, denominadas fatores, e que os fatores obtidos não apresentem correlação entre si, como ocorre entre as variáveis originais que devem apresentar altas correlações.

Para a obtenção dos fatores há uma perda mínima de informações, sendo possível através destes fatores explicar as possíveis fontes de contaminação existentes nos corpos hídricos (HAIR et al., 2009).

Outra ferramenta empregada no processo de monitoramento dos mananciais é o índice de qualidade da água (IQA), pois permite através de informações resumidas prever as condições do manancial superficial ao longo do tempo e fornece resultados de fácil interpretação (CETESB, 2016; COSTA et al., 2012; CUNHA et al., 2013; FRANCO et al., 2012). Porém, nem sempre os resultados de fácil interpretação encontrados, representam adequadamente a realidade de um corpo hídrico (LIBÂNIO, 2010).

Sendo assim, segundo Moretto et al. (2012) uma das melhores maneiras de adequar o IQA para um corpo d'água específico é através da modificação deste índice.

Dentre as diversas maneiras utilizadas para modificar o IQA, pode-se utilizar a adequação dos pesos de cada variável que compõem o índice. Estes pesos podem ser obtidos através da Análise de Componentes Principais (ACP), pois segundo Mingoti (2013) assim que as componentes principais (CPs) forem geradas, os valores numéricos denominados de scores fatoriais são calculados para cada elemento amostral.

Com base no exposto este estudo objetivou desenvolver um Índice de Qualidade de Água Modificado (IQA_{mod}) a partir do uso da análise estatística multivariada e também identificar as possíveis fontes de poluição hídrica no Canal São Gonçalo, RS – Brasil, por meio da análise de componentes principais.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de estudo

A área de estudo foi o ponto GER 47 (Figura 1), localizado no Canal São Gonçalo e inserido na Bacia Hidrográfica Mirim - São Gonçalo dentro da Região da Bacia Litorânea (FEPAM, 2016).

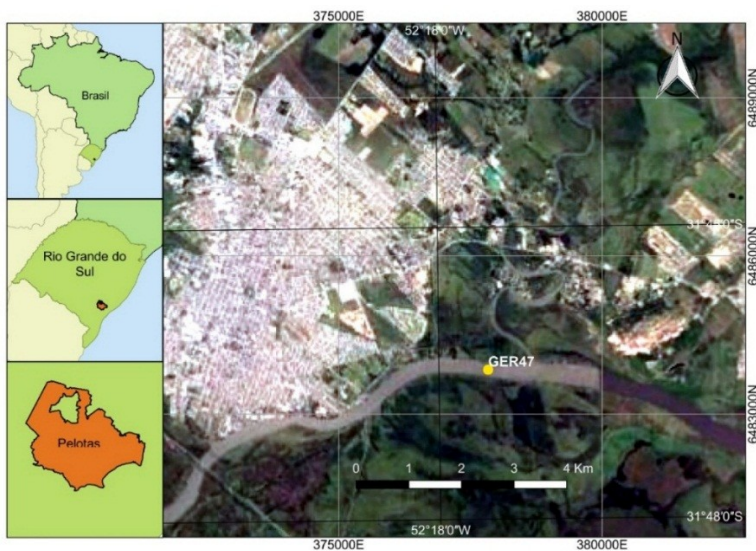


Figura 1: Mapa de Localização do ponto GER 47.

O Canal São Gonçalo, possui grande importância principalmente para o município de Pelotas/RS, pois este corpo hídrico é utilizado, dentre outros fins, para o abastecimento urbano, a pesca, a navegação, atividades agropecuárias, recreação e extração de areia (FEPAM, 2016). As coordenadas geográficas do referido ponto são: Latitude 31°46'296" Sul; Longitude 52°17'269" Oeste.

Banco de Dados

Foram utilizados neste estudo os dados secundários de qualidade da água disponibilizados pela Fundação de Proteção Ambiental Henrique Luis - FEPAM/RS, compreendidos entre os

anos de 2005 a 2013. As variáveis de qualidade de água utilizadas foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5^{20}), Coliformes Termotolerantes (CT), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez (TH), pH, Temperatura da água (TH_2O) e Sólidos Totais (ST). As coletas foram realizadas pela FEPAM de acordo com a metodologia descrita por CETESB (1987) e os métodos analíticos, bem como, a preservação das amostras seguiram os procedimentos definidos por APHA (2005).

Análise de Componentes Principais (ACP)/Análise Fatorial (AF)

Construiu-se uma matriz de dados expressos por $X = (x_{i,j})$, em que $i = 1 \dots n$ amostragens (13) e $j = 1 \dots p$ variáveis (9). Em seguida, transformou-se a matriz de dados originais (13x9) em uma matriz de correlações [R] (pxp).

A decomposição desta matriz de correlação do vetor aleatório de interesse deu origem as componentes principais (CPs), e posteriormente foi calculado para cada elemento amostral um score fatorial (MINGOTI, 2013), os mesmos passaram por uma transformação matemática (denominada calibração) para que o somatório dos pesos fossem igual a 1 conforme exigido para o cálculo do IQA (CETESB 2016; LIBÂNIO, 2010;).

Para a transformação dos dados, obtenção da matriz de correlação bem como a ACP/AF fez-se uso do software Statistica®, versão 7.0.

Índice de Qualidade da Água modificado (IQA_{mod})

Foi realizada a análise da variação temporal da qualidade da água para os períodos de 2005-1 até 2013-2 através IQA_{mod}, com exceção do primeiro semestre de 2007, 2008, 2010 e 2011 e para o segundo semestre dos anos de 2007, pois devido à falta de equipamentos a FEPAM não foi realizou o monitoramento nos períodos supracitados.

De acordo com Sperling (2007) e CETESB (2016), o IQA é calculado segundo a Equação 1, sendo que os valores do índice variam de 0 a 100.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} (1)$$

Em que: IQA: Índice de Qualidade das Águas, número que varia de 0 a 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade estabelecidas pela CETESB”, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, número entre 0 e 1, atribuído em função da importância para a conformação global de qualidade, e;

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Os valores obtidos de IQA_{mod} foram classificados de acordo com a faixa (Tabela 1), de acordo com (FEPAM, 2016).

Tabela 1: Classificação do IQA de acordo com as faixas estabelecidas para o Rio Grande do Sul (FEPAM, 2016)

Classificação	Cor	Faixa de IQA
Ótima	Azul	$90 \leq IQA \leq 100$
Boa	Verde	$70 \leq IQA < 90$
Aceitável	Amarela	$50 \leq IQA < 70$
Ruim	Vermela	$25 \leq IQA < 50$
Péssima	Preta	$0 \leq IQA < 25$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ACP/AF necessitou apenas de dois fatores para explicar 93% da variância total dos dados (Tabela 2), o que segundo Hair et al. (2009) e Jolliffe (2002) a seleção do número de componentes deve estar acima de 70% para proporcionar uma noção aceitável da representação da variância original, e então se obter uma visão global ao entorno do GER47 localizado no Canal São Gonçalo, RS.

Tabela 2: Fatores encontrados e a explicação da variância da amostra

Fator	Variância Total Explicada (%)	Variância Total Acumulada (%)
1	59,11	59,11
2	33,99	93,10
3	6,90	100,00

Através destes dois fatores, denominados de componentes principais (CPS) foi possível, além da criação do índice de qualidade da água, identificar as possíveis fontes de poluição existente ao redor do ponto GER47.

A Componente Principal 1 (CP₁), responsável por 59% da variação total dos dados, foi explicada através das variáveis CT, DBO₅²⁰, OD, pH, ST, TH₂O e TH. Já a CP₂ explicou 34% da variância total dos dados, sendo esta representada pelas variáveis NTK e PT, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Componentes principais utilizadas no estudo

Variáveis	CP ₁	CP ₂
CT	0,95	0,28
DBO ₅ ²⁰	0,74	-0,60
PT	0,34	0,93
NT	0,14	0,97
OD	0,89	-0,43
pH	0,74	-0,60
ST	-0,87	-0,49
TH ₂ O	-0,99	-0,01
TH	-0,77	-0,16

Segundo Sperling (2007), a CP₁ possivelmente está associada as atividades como despejos domésticos, pecuária e a

resuspensão de sedimentos oriundos do tráfego de navegações, bem como pode ser proveniente da erosão nas margens do manancial. Já a CP₂ possivelmente está associada a despejos industriais e atividades agrícolas (LIBÂNIO, 2010).

Após esta calibração dos scores fatoriais (Tabela 4) observou-se que o maior peso foi empregado a variável NTK, com um coeficiente de 0,17, o que difere do peso empregado pelo IQA_{CETESB}, pois neste a variável de maior importância é OD, apresentando peso de 0,17. Porém, neste estudo esta foi uma das variáveis que recebeu o menor peso (0,9) em contrapartida no IQA_{CETESB} as que apresentam o menor peso são TH e SD. Mostrando assim a importância da readequação dos pesos conforme mencionado em estudos anteriores por Libânio (2010) e Moretto et al. (2012).

Tabela 4: Autovetores e os pesos calibrados para o IQA_{mod} .

Variáveis	Coefficiente IQA_{mod}	Peso calibrado IQA_{mod}	Peso IQA_{CETESB}
CT	0,18	0,10	0,15
DBO_5^{20}	0,19	0,11	0,10
PT	0,30	0,16	0,10
NT	0,31	0,17	0,10
OD	0,16	0,09	0,17
pH	0,19	0,11	0,12
ST	0,16	0,09	0,08
TH_2O	0,18	0,10	0,10
TH	0,14	0,08	0,08
Soma	1,85	1,00	1,00

Observa-se (Tabela 5) que o IQA_{mod} superestimou o IQA_{CETESB} no período de 2006-1, 2008-2 2011-2, apresentando assim mudança na faixa do IQA_{mod} para uma faixa superior, quando comparado a faixa do IQA_{CETESB} , e no período de 2005-2 o IQA_{mod} subestimou o IQA_{CETESB} , portando apresentou-se em uma faixa inferior, já nos demais períodos ambos os IQAS, apresentaram se na mesma faixa de classificação.

Tabela 5: Variabilidade temporal da qualidade de água.

PERÍODO	IQA_{mod}	IQA_{CETESB}
2005-1	62	67
2005-2	69	76
2006-1	78	67
2006-2	69	66
2008-2	55	42
2009-1	78	70
2009-2	85	85
2010-2	59	69
2011-2	63	48
2012-1	46	34
2012-2	63	60
2013-1	30	47
2013-2	67	63

Analisando as faixas em que o IQA_{mod} se encontrou, foi possível observar que, no ano de 2005 o IQA_{mod} esteve na faixa aceitável, subindo posteriormente no período de 2006-1 para boa, porém nos períodos de 2006-2 e 2008-2 a mesma voltou para faixa aceitável, mas se apresentou novamente na faixa boa no ano de 2009, posteriormente nos períodos de 2010-2 e 2012-2, esteve na faixa aceitável, mas passou em 2011-2 e 2012-1 bem como em 2013-1 para faixa ruim, já em 2013-2 final da série temporal estudada o IQA_{mod} se encontrava na faixa aceitável.

Segundo Libânio (2010) e Sperling (2005), essa variação do IQA_{mod}, pode estar ligada a precipitação o que influencia na qualidade da água através diluição dos poluentes, mas também

segundo Tucci (2012) deve-se observar o sistema hidráulico do manancial em estudo.

Outro fator de suma importância quando se está analisando os resultados obtidos no IQA, segundo Cunha et al. (2013), é a avaliação individual dos parâmetros de qualidade da água na série temporal estudada. Neste estudo, observou-se que ao comparar os parâmetros com a resolução do CONAMA 357/2005, para rios de classe dois, foi possível observar que as variáveis TH, DBO_5^{20} , PT e pH, apresentaram-se dentro dos limites, porém, mesmo assim influenciaram a faixa do IQA, principalmente nos períodos de 2011-2 e 2012-1, cabe ainda salientar que além das variáveis já citadas o período de 2012-1, foi fortemente influenciado pelas variáveis CT e ST. Já os demais anos também sofreram interferência das variáveis, porém com menor intensidade.

CONCLUSÃO

A aplicação da estatística multivariada, gerou através da ACP/AF, duas componentes principais e através das quais foi possível identificar as principais fontes de poluição, esta técnica estatística forneceu também, pesos diferentes dos empregados pela CETESB, para aplicação do IQA no Canal São Gonçalo, tornando visível a importância da readequação dos pesos do IQA, de acordo com a necessidade de cada manancial.

Agradecimentos

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante todo esse período de realização do meu mestrado que está sendo realizado no PPG em Recursos Hídricos, e também a Fepam (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler), por disponibilizar os dados para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AL-MUTAIRI, N.; ABAHUSSAIN, A.; EL-BATTAY, A.. **Spatial and temporal characterizations of water quality in Kuwait Bay**. Marine Pollution Bulletin, v. 83, n. 1, p. 127–131, 2014.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association. APHA/AWWA/WEF, 2005.

BRAGA, B.; TUNDISI, J.G; TUNDISI, T. M.; et al. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. 1987. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. CETESB, São Paulo, SP, Brasil.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Site oficial da CETESB 2016. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas>. Acesso em: 01 jul. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências**. Brasília-DF: MMA. 2005.

CORRAR, J., L.; PAULO, E.; DIAS FILHO, M. J. **Análise Multivariada: Para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. São Paulo: Atlas, 2014. 586 p.

COSTA, A. B.; POSSELT, E.L; MENEZES C.M; et al. **Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água**. Caderno de Pesquisa Série Biologia, v. 24, n. 1, p. 67- 78, jan/abr 2012.

CUNHA, R. W.; GARCIA JUNIOR, M. D. N.; ALBERTONI, E. F.; et al.. Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. 2013, v.17, n.7, p. 770-779.

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; et al.. **Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia**. Brazilian Journal of Geology, 22. Feb. 2012.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE ROESSLER – FEPAM. **Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas**. Site oficial da FEPAM. 2016. Disponível em:

http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/monitor_agua_litoral.asp.
Acesso em: 01 jul. 2016.

GOMÉZ, D. M.. **Estudio del modelamiento de la calidad del agua del río Sinú, Colombia**. Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín, v. 12, n. 22, p. 33–44, jan./jun.2013.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J; et al.. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HELLER, L.; PÁDUA, L.. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, 2010.

IANG, K. **Multivariate statistical methods and Six-Sigma**. Journal Six Sigma and Competitive Advantage, v.1, n. 1, p. 76-96, 2004.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas: Átomo, 2010.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. 2. ed. Minas Gerais: UFMG, 2013. 295 p.

MORETTO, D. L.; PANTA, R. E.; COSTA, A. B.; et al.. **Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution nº 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA)**. Acta Limnologica **Brasiliensia**, Rio Claro, v. 24, n. 1, p. 29-42, Mar. 2012.

MUSTONEN, S. M.; TISSARIA, S.; HUIKKOA, L. et al.. **Evaluating online data of water quality changes in a pilot drinking water distribution system with multivariate data exploration methods.** Water Research, v. 42, n. 10-11, p. 2421–2430, 2008.

OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C.. **Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis - literature review and Illinois River watershed case study.** Water Research, v. 46, n. 9, p. 3110–3122, 2012.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. **Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, RS, 30 dez. 1994.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: DESA/UFGM, 2007, 588 p. (Coleção Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.7).

STATSOFT, INC. Programa Computacional Statistica 7.0. E.A.U. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2012. 943 p.