

Análise da qualidade da água: um estudo de caso do Arroio Bolacha - RS

Water quality analysis: a case study of stream Bolacha - RS

Luana Nunes Centeno¹

Samanta Tolentino Ceconello²

RESUMO

A qualidade da água está intimamente ligada às características limnológicas dela, diante disso, o objetivo deste estudo foi analisar as possíveis fontes de poluição do Arroio Bolacha-RS através da AF/ACP. Para isso, utilizou-se a estatística multivariada, por meio da Análise de Componentes Principais/ Análise Fatorial e utilizou-se de dados secundários disponibilizados pela FEPAM entre os anos de 2005 a 2013. Foi possível encontrar duas componentes principais que juntas explicaram 100% da variância total dos dados. Sendo que, a Componente Principal 1 apresentou como possível fonte de poluição despejos domésticos e a Componente Principal 2 o uso e manejo inadequado do solo. Com este estudo, foi possível concluir que a aplicação da ACP/AF, possibilitou a redução da dimensão das variáveis e auxiliou na identificação de possíveis fontes de poluição, podendo assim ser facilmente empregada em estudos de qualidade da água.

Palavras-chave: Análise de Componente Principais. Análise Fatorial. Fontes de Poluição.

1 Universidade Federal de Pelotas – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos |
luananunescenteno@gmail.com

2 Universidade Federal de Pelotas – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais |
satolentino@gmail.com

Análise da qualidade da água: um estudo de caso do Arroio Bolacha - RS

Water quality analysis: a case study of stream Bolacha - RS

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the possible pollution sources of Arroio Bolacha - RS through FA /PCA. For this, multivariate statistics were used, through Principal Component Analysis/ Factor Analysis and secondary data provided by FEPAM between the years 2005 to 2013 were used. Where it was possible to find two main components that together explained 100% of the total variance of the data. Since Principal Component 1 presented as possible pollution source domestic waste and Principal Component 2 the use and inadequate management of the soil. With this study, it was possible to conclude that the application of CPA/AF, made it possible to reduce the size of the variables and helped in the identification of their possible sources of pollution, thus being easily used in water quality studies.

Keywords: Principal Component Analysis. Factorial Analysis. Sources of Pollution.

1 Introdução

Os mananciais superficiais são as principais fontes de abastecimento de água doce, e, segundo Naveedullah et al. (2016), a qualidade deles reflete diretamente na economia, no desenvolvimento social e na saúde da sociedade.

Nos últimos anos, os recursos hídricos vêm sofrendo intensamente com as poluições. De acordo com Ramos et al. (2016), isso se deve, principalmente, ao aumento significativo da urbanização, que demanda por recursos hídricos de qualidade para a produção de bens e consumo por parte das indústrias. Estas demandas, decorrentes de atividades consuntivas, utilizam-se dos mananciais para despejos de esgotos sanitários sem o devido tratamento.

O lançamento desordenado de esgoto sanitário é considerado um dos principais causadores de poluição nos mananciais, uma vez que é rico em matéria orgânica, e quando lançado “in natura”, dependendo da capacidade do manancial em se autodepurar, pode resultar em sérios impactos negativos à qualidade da água, como toxicidade e proliferação de algas (BRAGA et al., 2015; LIBÂNIO, 2010; NUVOLARI, 2011).

Diante disso, é primordial monitorar a qualidade da água, pois através desse monitoramento é possível acompanhar os processos de uso dos corpos hídricos, de modo que os reflexos desses efeitos sobre as características qualitativas possibilitem propor ações de controle e gestão ambiental (BILGIN; KONANÇ, 2016; CHOW et al., 2015; SOUZA, 2015).

Uma ferramenta que vem sendo utilizada atualmente com a finalidade de auxiliar no monitoramento da qualidade da água, através da correlação entre múltiplos parâmetros, é a estatística multivariada. Esta se utiliza, dentre outras, das técnicas da Análise de Componentes Principais (ACP)/Análise Fatorial (AF) (AL-MUTAIRI, ABAHUSSAIN, EL-BATTAY, 2014; BERTOSSI et al., 2013; GOMES et al., 2014; MORETTO et al., 2012).

A AF é um conjunto de técnicas estatísticas relacionadas entre si, em que são analisados os inter-relacionamentos entre as variáveis, buscando-se reduzir o número de variáveis originais, para tornar os dados mais claros e facilmente interpretáveis (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2014). De acordo com Vicini e Souza (2005), a Análise Fatorial explica a variância dos dados observados e também as correlações entre as variáveis que estão sendo estudadas. Por conseguinte, a Análise de Componentes Principais (ACP) objetiva encontrar um meio de condensar as informações contidas em variáveis originais, em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores), com uma perda mínima de informações. Para isso, procura-se uma combinação linear entre as variáveis originais, buscando que o máximo de variância seja explicado por essa combinação (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2014).

Portanto, a análise estatística fornece a correlação de uma amostra, com inúmeras variáveis, tornando assim, conhecidos os conjuntos de variáveis altamente correlacionados, que são denominados de fatores, sendo esses tratados como representantes de dimensões dentro dos dados (HAIR et al., 2009).

Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as possíveis fontes de poluição do Arroio Bolacha - RS por meio da análise estatística multivariada.

2 Material e Métodos

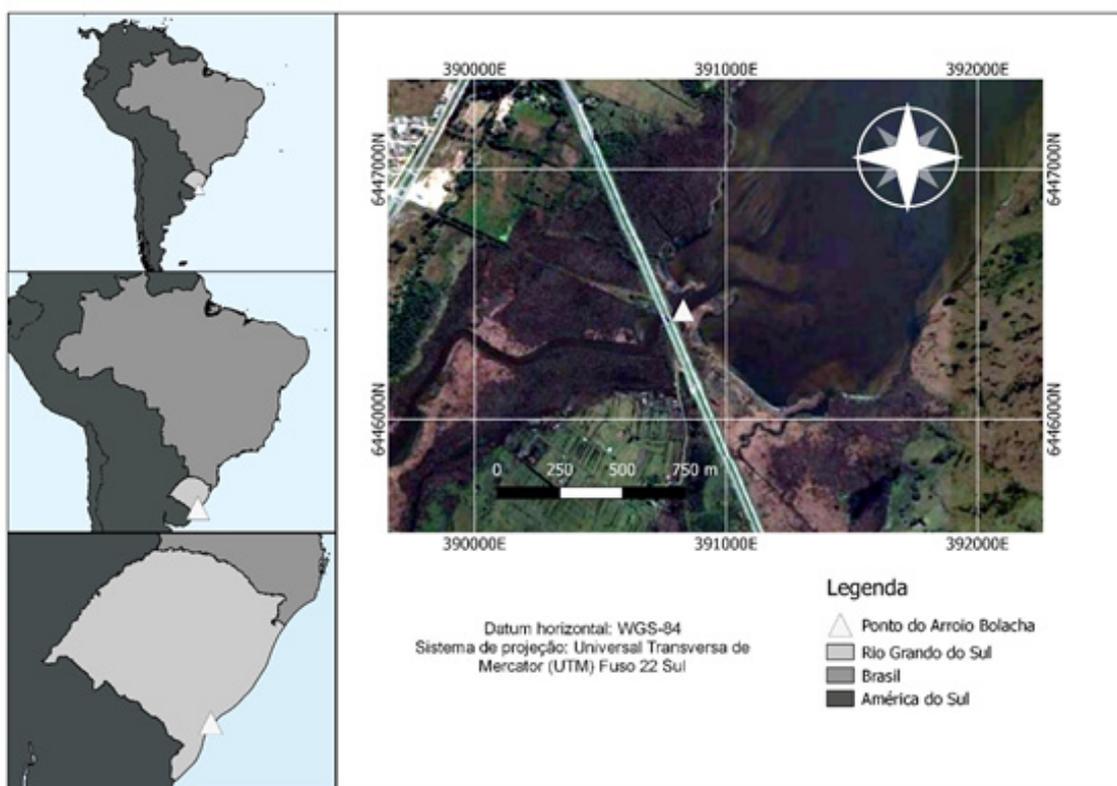
2.1 Caracterização da Área

Segundo a Lei nº 10.350/1994, do Estado do Rio Grande do Sul, em seu Artigo 38, foi determinada a existência de três regiões hidrográficas: a região do rio Uruguai, que coincide com a bacia nacional do Uruguai, a região do Guaíba e a região do Litoral, que coincidem com a bacia nacional do Atlântico

Sudeste. As três regiões hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul foram subdivididas em bacias hidrográficas, totalizando, até o presente momento, 25 unidades (FEPAM, 2016).

A Bacia Hidrográfica do Litoral é formada pelas bacias do leste e do extremo sul do Estado e é dividida em cinco sub-bacias, são elas: Tramandaí, Litoral Médio, Camaquã, Mirim-São Gonçalo e Mampituba. A Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, situada no sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, abrange o município de Arroio Grande – RS. O ponto abordado neste estudo denomina-se GER 64, que está localizado no Arroio Bolacha, situado na latitude 6446443,75 Sul e longitude 390802,85 Oeste. Para as coordenadas projetadas neste estudo, adotou-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22 Sul, Datum World Geodetic System (WGS 84) (FEPAM, 2016). A Figura 1 apresenta a área de influência ao redor do GER 64, esta foi obtida da base de dados da Google através do software Google Earth, sendo escolhida a imagem do ano de 2013. Esta imagem foi salva em formato tiff e posteriormente foi realizado o georeferenciamento, através do software livre QGIS, versão 2.18.13, para o sistema de referência WGS84 no sistema de projeção UTM no fuso 22 Sul. O ponto de estudo fica situado na foz do Arroio Bolacha, desaguando na Laguna dos Patos através do Saco da Mangueira. No seu percurso da nascente até a foz, o Arroio Bolacha corta propriedades rurais e parte do balneário Cassino na cidade de Rio Grande.

Figura 1: Localização do ponto de coleta GER 64 localizado no Arroio Bolacha



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.2 Base de Dados

A Fundação de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM/RS) é responsável pelo monitoramento da qualidade dos corpos d'água da Região da Bacia do Litoral desde 1992. As coletas e análises de água ocorrem a cada seis meses, contemplando os períodos chuvoso e seco. Dessa forma, foram utilizados neste estudo os dados de qualidade da água disponibilizados pela FEPAM/RS, compreendidos entre os anos de 2005 a 2013.

As variáveis de qualidade de água utilizadas foram: Cloretos (Cl⁻); Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅²⁰), Coliformes Termotolerantes (CT), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Nitrogênio Amoniaco (NH₃); Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez (TH), Potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura da água (T_{H2O}) e Sólidos Totais (ST).

As coletas foram realizadas pela FEPAM de acordo com a metodologia descrita pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Os métodos analíticos, bem como a preservação das amostras, seguem os procedimentos definidos por APHA (2005).

2.3 Análise de Componentes Principais/Análise Fatorial

O escalonamento dos dados foi realizado para cada variável, em cada ponto de monitoramento através do método z-scores. Os dados, após serem escalonados, foram expressos em forma de matriz por $X = (X_{ij})$, onde $i = 1, 2, \dots, n$ número de amostras e $j = 1, 2, \dots, "p"$ parâmetros.

Em seguida, transformou-se a matriz de dados original em uma matriz de correlações [R] (p x p), sendo que "p" corresponde as variáveis de qualidade da água a serem analisadas. Através da AF, foi possível transformar o conjunto original das variáveis observadas em um novo conjunto, denominado fatores, estes fatores foram extraídos através da ACP e deu origem as Componentes Principais (CP's). Segundo Hair et al. (2009), as três primeiras componentes, devem explicar o máximo de variabilidade total dos dados, de forma que a primeira não esteja correlacionada com a segunda e a segunda não esteja correlacionada com a terceira, e esta não esteja correlacionada nem com a primeira nem com a segunda, e assim sucessivamente, até que as CP's expliquem mais do que 70% da variância total dos dados.

Para a normalização dos dados, construção dos fenogramas, obtenção da matriz de correlação, bem como a AF e posteriormente a ACP foi utilizado o software livre BioEstat, versão 5.3.

3 Resultados e Discussão

3.1 Obtenção da matriz de correlação

Para compor os cálculos deste arroio, foi utilizado o ponto denominado GER 64. A matriz de correlação referente ao Arroio Bolacha pode ser observada na Tabela 1, sendo na cor vermelha, destacadas as correlações significativas (p -valor < 0,05). Observam-se as correlações significativas entre as variáveis de qualidade da água Cl⁻ e CT; Cl⁻ e ST; ST e CT e por fim entre PT e T_{H2O}.

Tabela 1: Matriz de correlação com as onze variáveis de qualidade da água do Arroio Bolacha

		Cl ⁻	CT	DBO ₅	PT	NH ₃	NT	OD	pH	ST	T _{H2O}	TH
Cl ⁻	r	1,000										
	p	---										
CT	r	1,000	1,000									
	p	0,006	---									
DBO ₅	r	-0,001	-0,010	1,000								
	p	0,999	0,993	---								
PT	r	0,972	0,975	-0,234	1,000							
	p	0,150	0,144	0,849	---							
NH ₃	r	-0,151	-0,142	-0,988	0,083	1,000						
	p	0,903	0,909	0,098	0,947	---						

NT	r	-0,499	-0,491	-0,866	-0,283	0,932	1,000						
	p	0,667	0,673	0,333	0,817	0,236	---						
OD	r	-0,830	-0,835	0,559	-0,937	-0,426	-0,069	1,000					
	p	0,377	0,371	0,623	0,227	0,720	0,956	---					
pH	r	0,757	0,763	-0,655	0,888	0,532	0,189	-0,993	1,000				
	p	0,454	0,448	0,546	0,304	0,643	0,879	0,077	---				
ST	r	1,000	1,000	-0,005	0,973	-0,147	-0,495	-0,832	0,759	1,000			
	p	0,003	0,003	0,997	0,147	0,906	0,670	0,374	0,451	---			
T _{H2O}	r	0,963	0,965	-0,271	-0,999	0,121	-0,247	-0,950	0,905	0,964	1,000		
	p	0,174	0,168	0,825	0,024	0,923	0,841	0,203	0,280	0,171	---		
TH	r	0,001	0,010	-0,010	0,234	0,988	0,866	-0,559	0,655	0,005	0,271	1,000	
	p	0,999	0,993	0,981	0,849	0,098	0,333	0,623	0,546	0,997	0,825	---	

Cl: Cloretos; CT: Coliformes Termotolerantes; DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NH₃: Nitrogênio Amoniacal; NT: Nitrogênio Total; OD: Oxigênio Dissolvido; pH: Potencia Hidrogeniônico; ST: Sólidos Totais; T_{H2O}: Temperatura da Água, TH: Turbidez, r: coeficiente de correlação de Pearson e p: p-valor.

A correlação significativa positiva entre Cl e CT, pode ser explicada pelo fato de os cloretos serem advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de potássio, utilizado como fertilizante inorgânico. Os cloretos também podem ser provenientes de despejos domésticos, que por sua vez apresentam elevada concentração de CT (PRADO; TURETA; ANDRADE, 2010, SPERLING, 2005). Ambos os parâmetros contribuem para o aumento dos teores de sólidos totais.

A correlação negativa existente entre PT e T_{H2O} pode ser compreendida pelo fato de o aumento da temperatura favorecer as taxas de reações físico-químicas e biológicas da água. De acordo com Libânio (2010), o fósforo sendo um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos, na medida em que ocorre o aumento da temperatura, poderá ser consumido pelos microrganismos responsáveis pela autodepuração do manancial.

3.2 Extração dos fatores

Após a decomposição da matriz de correlação, foi possível encontrar a variância total dos dados (Tabela 2). Observa-se que os dois primeiros fatores explicam 100% da variância total dos dados.

Tabela 2: Fatores encontrados e a explicação da variância da amostra contendo as onze variáveis de qualidade da água do Arroio Bolacha

Fator	Variância total explicada (%)	Variância total acumulada (%)
1	61,471	61,471
2	38,529	100,000

Bilgin e Konanç (2016) utilizaram quatro fatores para explicar 61,70% da variância total dos dados, para então conseguirem identificar as fontes de poluição de um rio na Turquia. Noshadi e Ghafourian (2016), com apenas três fatores, conseguiram explicar 80% da variância total dos dados de qualidade da água, de poços da província de Fars, no sul do Irã. Assim como Yang et al. (2015), que através de três componentes principais, avaliaram e identificaram fontes de poluição, em um aquífero costeiro no sul da China. Na Tabela 3, estão apresentadas as duas componentes principais extraídas da análise fatorial.

Tabela 3: Componentes principais extraídas da AF, contendo as onze variáveis de qualidade da água do Arroio Bolacha

Variável	CP ₁	CP ₂
Cl ⁻	-0,926	0,375
CT	-0,930	0,366
DBO ₅	0,376	0,926
PT	0,148	-0,989
NH ₃	-0,230	-0,973
NT	0,138	-0,990
OD	0,978	0,205
pH	-0,946	-0,321
ST	-0,928	0,371
T _{H2O}	-0,993	0,111
TH	-0,376	-0,926

Observa-se, na Tabela 3, que a componente principal 1, responsável por 61,00% da variância total dos dados é composta pelas variáveis Cl⁻, CT, OD, pH, ST e T_{H2O}; por possuírem uma carga fatorial acima de 0,90%, caso semelhante referente à carga ocorreu com relação à componente principal 2, responsável por 39,00% da variância total, representada pelas variáveis PT, DBO₅, NH₃, NT e TH.

As altas cargas fatoriais de cada parâmetro composto neste estudo comprova que todas as variáveis empregadas são significativas para a definição da qualidade da água do ponto do Arroio Bolacha. Uma vez que, de acordo com Hair et al. (2009), para que um parâmetro seja significativo é essencial que a carga fatorial esteja acima de 0,7%.

A CP1 possivelmente esteja relacionada a despejos domésticos e com pecuária, bem como a detergentes (SPERLING, 2007; LIBÂNIO, 2010). Cabe ressaltar que quando se trata de efluentes domésticos no Brasil e de maneira geral, assim como no Arroio Bolacha, apenas 47% dos municípios têm rede coletora de esgotos, entretanto apenas 18% dos esgotos recebem algum tratamento. Com relação à pecuária, a criação, dentre outros, de bovinos e de suínos é típica desta região, o que pode estar sendo caracterizado pela presença dos coliformes termotóxicos na área de estudo.

Por conseguinte, a CP2 possivelmente esteja relacionada a lixiviações, uso e manejo inadequado do solo, que se estende a aplicações de pesticidas, herbicidas e fertilizantes, esta componente pode estar ainda relacionada à erosão (NUVOLARI, 2013; SPERLING, 2005).

4 Conclusão

A estatística multivariada, por meio da análise de componentes principais, proporcionou a redução na dimensão dos dados de qualidade da água, através da formação de duas componentes principais, que juntas explicaram 100% da variância total dos dados. Tornando possível, assim, a identificação das fontes de poluição do Arroio Bolacha, onde a CP1 possivelmente esteja relacionada com despejos domésticos e com pecuária. E a CP2 a fatores relacionados com as atividades agrícolas.

Agradecimentos

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa, durante todo esse período de realização do meu Doutorado, 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**, [s.l.], v. 83, n. 1, p.127-131, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.009>.

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

BERTOSSI, A. P. A. et al. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p.2025-2036, set. 2013. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359>.

BILGIN, A.; KONANÇ, M. U. Evaluation of surface water quality and heavy metal pollution of Coruh River Basin (Turkey) by multivariate statistical methods. **Environmental Earth Sciences**, [s.l.], v. 75, n. 12, p.1029-1047, jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5821-0>.

BRAGA, B. et al. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015.

CHOW, M. F. et al. Evaluation of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Fei-Tsui Reservoir basin, Taiwan. **Environmental Earth Sciences**, [s.l.], v. 75, n. 1, p.5-21, dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4922-5>.

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.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**., São Paulo: CETESB, 1987.

CORRAR, L. J; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GOMES, A. I. et al. Optimization of river water quality surveys by multivariate analysis of physicochemical, bacteriological and ecotoxicological data. **Water Resources Management**, v. 28, n. 5, p. 1345–1361, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0547-9>.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE ROESSLER – FEPAM. **Monitoramento da qualidade da água da região hidrográfica das bacias litorâneas**. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/monitor_agua_litoral.asp>. Acesso em: 04 set. 2017.

HAIR JR., J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LIBÂNIO, M.. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010.

MORETTO, D. L. et al. Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution nº 357/2005 of the

Environment National Council (CONAMA). **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.29-42, mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x2012005000024>.

NAVEEDULLAH, N et al. Water quality characterization of the siling reservoir (Zhejiang, China) using water quality index. **Clean - Soil, Air, Water**, [s.l.], v. 44, n. 5, p.553-562, mar. 2016. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201400126>.

NOSHADI, M.; GHAFOURIAN, A.. Groundwater quality analysis using multivariate statistical techniques (case study: Fars province, Iran). **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 188, n. 7, p.418-431, 18 jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5412-2>.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

RAMOS, M. A. G. et al. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. **Environmental Monitoring And Assessment**, [s.l.], v. 188, n. 5, p.262-276, 1 abr. 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5261-z>.

SOUZA, M. F. **Qualidade da água do canal São Gonçalo-RS/Brasil** : uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, 2015.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2005.

VICINI, L; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à pratica**. Santa Maria: UFSM, 2005.

YANG, Q. et al. Multivariate statistical analysis of hydrochemical data for shallow ground water quality factor identification in a Coastal Aquifer. **Polish Journal of Environmental Studies**, [s.l.], v. 24, p.769-776, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/30263>.