



Avaliação da qualidade da água da Lagoa Mirim por meio de métodos estatísticos e índice de violação

Evaluation of the water quality of Lagoa Mirim by means of statistical methods and index of violation

Marlon Heitor Kunst VALENTINI⁽¹⁾, Gabriel Borges dos SANTOS⁽²⁾, Henrique Sanchez FRANZ⁽³⁾, Bruno Muller VIEIRA⁽⁴⁾

(1) Estudante de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos – Universidade Federal de Pelotas

*E-mail: marlon.valentini@hotmail.com

(2) Estudante de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos – Universidade Federal de Pelotas

E-mail: gabrielwxsantos@hotmail.com

(3) Estudante de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos – Universidade Federal de Pelotas

E-mail: franzhenrique@yahoo.com.br

(4) Professor do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas

E-mail: bruno.prppg@hotmail.com

E-mail do autor correspondente: marlon.valentini@hotmail.com

Resumo - Os rios, lagos e lagoas sempre foram fundamentais para a vida humana. Para fazer a avaliação e o monitoramento da qualidade da água muitos autores têm utilizado ferramentas estatísticas e índices de qualidade. Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo avaliar o índice de violação e o índice de qualidade da água da Lagoa Mirim, bem como utilizar ferramentas estatísticas de comparação múltipla para melhor entender a qualidade desse recurso hídrico. Com base nos resultados pode-se demonstrar que apenas houve variabilidade significativa, no que tange a qualidade da água, entre dois pontos de monitoramento. Ou seja, de forma geral, esse corpo hídrico sofre as mesmas pressões naturais ou antrópicas. No que concerne ao índice de violação, a Lagoa Mirim apresentou diversos pontos com alto percentual de violação dos limites de certos parâmetros de qualidade definidos pela legislação vigente, mostrando que essa lagoa vem sofrendo alterações devido a atividades antrópicas desenvolvidas no seu entorno. Logo, o desenvolvimento de ações de preservação dessa bacia hidrográfica se faz necessário, a fim de garantir a qualidade da água e a conservação dos processos ecológicos e das comunidades aquáticas dessa lagoa.

Palavras chave: recursos hídricos, índice de qualidade da água, anova, teste de tukey, comparações múltiplas.

Abstract - Rivers and lakes have always been fundamental for humans' lives. In order to assess and monitor water quality, several authors have been used statistical methods and quality indexes. Thus, the present study aims to assess the violation rate and water quality of Lagoa Mirim, as well as applies statistical methods and multiple comparison in order to obtain a better understand about this water resource. The results demonstrated that there was only significant



variability, regarding water quality, between two monitoring points. It means that, in general, this water body suffers the same natural or anthropic pressures. Concerning about violation's rate, Lagoa Mirim presented a several points with a high violation percentage of the limits of certain quality parameters defined by the currents standards, showing that this lagoon has been undergoing changes due to anthropic activities developed in its surroundings. Therefore, it is necessary developing actions to preserve this hydrographic basin, in order to ensure water quality and conservation of ecological process and aquatic communities in this lagoon.

Keywords: water resources, water quality index, anova, tukey's test, multiple comparison

Introdução

Os corpos hídricos superficiais, como os rios e lagos, sempre foram fundamentais para a vida humana, pois cidades, indústrias e atividades agrícolas têm se estabelecido próximo deles (FATHI; AHMADMAHMOOD; BIDAKI, 2018). No entanto, com o aumento populacional e o crescimento de atividades econômicas, a contaminação dos rios têm aumentado e a qualidade da água se deteriorado, ameaçando o uso sustentável dos recursos hídricos (MUSTAFA et al., 2020).

A bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, localizada no sul do Brasil, possui cerca de 357 mil hectares de águas superficiais, sendo responsável pelo sustento de muitas famílias inseridas na região. No entanto, ela sofre influência de atividades agrícolas, as quais utilizam produtos agroquímicos o que pode comprometer a qualidade da água, bem como o uso de seus recursos (VALENTINI et al., 2020).

Para fazer a avaliação e o monitoramento da qualidade da água muitos autores têm utilizado como ferramenta métodos estatísticos multivariados, comparações múltiplas e índices de qualidade de água (DANTAS et al., 2020; SANTOS et al., 2020; VALENTINI et al., 2020; VAROL, 2020). Essas técnicas auxiliam no entendimento e na interpretação da complexidade do conjunto de dados de qualidade de água e também auxiliam na identificação fontes de poluição (VALENTINI et al., 2020). No entanto, o IQA e os métodos de estatística multivariadas apresentam limitações quando utilizados individualmente, portanto utilizar ambos de forma combinada tem se mostrado mais eficiente (VAROL, 2020).

Sendo assim, o estudo teve como objetivo avaliar o índice de violação e o índice de qualidade da água (IQA) da Lagoa Mirim, bem como utilizar ferramentas estatísticas de comparação múltipla para melhor entender a qualidade desse recurso hídrico.

Material e métodos

Área de estudo e amostragem

Esse estudo é referente as águas da Lagoa Mirim, situada entre o sul do Brasil e o norte do Uruguai. No Brasil essa lagoa se localiza na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (OLIVEIRA et al, 2015). Para esse estudo foram realizadas 22 coletas ao longo dos anos de 2015, 2016 e 2017 em sete pontos de monitoramento. A localização dos pontos de coleta e a identificação e coordenadas dos mesmos se encontram na Figura 1.

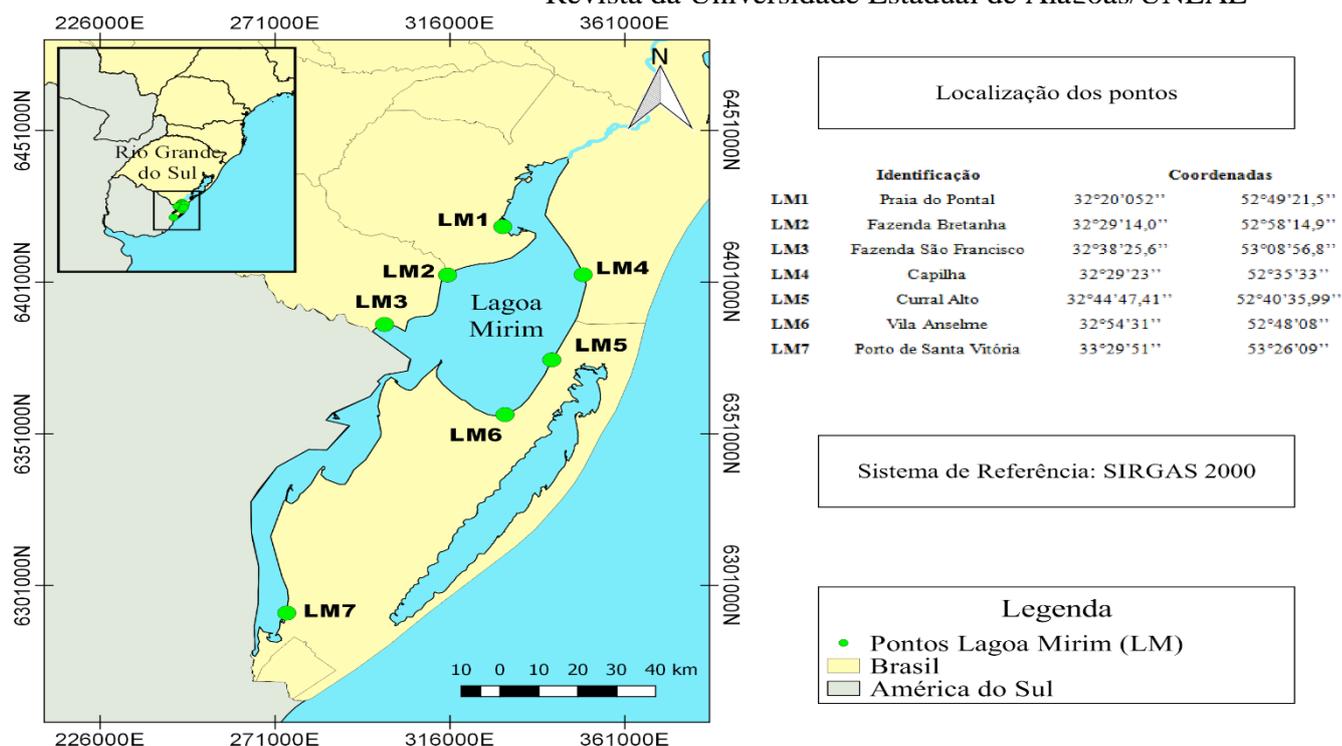


Figura 1. Localização da área de estudo e pontos de monitoramento

A coleta, transporte, preservação, armazenamento e análise das amostras seguiram as normas descritas no Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA, 2017). Essas amostras foram encaminhadas ao laboratório de águas e efluentes da Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Os parâmetros analisados, assim como o método ou equipamento de medição utilizado estão descritos na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Parâmetros realizados no estudo

Parâmetro	Método ou equipamento de medição utilizado
Coliformes Termotolerantes (C.Termo.)	Método de tubos múltiplos
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Titulométrico
Fósforo total (P)	Colorimétrico – Espectroscopia de UV-Vis
Nitrogênio total (N)	Digestão ácida e determinação por titulação
Oxigênio dissolvido (OD)	Titulométrico
Potencial hidrogeniônico (pH)	Medidor Multiparâmetro de Bolso (Combo 5)
Sólidos Totais (ST)	Gravimétrico
Temperatura	Medidor Multiparâmetro de Bolso (Combo 5)
Turbidez	Turbidímetro Ap 2000 Policontrol

Fonte: Org. do autor



Índice de Qualidade da Água

Os índices de qualidade de água (IQA) adotado neste estudo utilizou a metodologia adaptada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir de um estudo realizado pela National Sanitation Foundation (NSF) (CETESB, 2017). Ainda, os resultados do IQA, que variam em uma escala de 0 a 100, são enquadrados e classificados conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos valores do IQA para o estado do RS

Valor do IQA	Qualidade da água
91-100	Ótima
71-90	Boa
51-70	Aceitável
26-50	Ruim
0-25	Péssima

Fonte: ANA, 2005.

Análises Estatísticas

A fim de avaliar a variação de qualidade entre os pontos de monitoramento da Lagoa Mirim, procederam-se análises estatísticas multivariadas e de comparações múltiplas para os resultados de IQA de cada um dos pontos estudados. Primeiramente, foi verificada a distribuição amostral dos IQA's de cada ponto de monitoramento, com o intuito de avaliar se os dados seguem ou não uma distribuição normal. Para isso, foi utilizado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov a um nível de significância de 5%. A normalidade amostral é avaliada a fim de definir quais são os melhores testes de variância a serem utilizados. Enquanto alguns testes são utilizados para dados que seguem uma distribuição normal, outros, os não paramétricos, não possuem essa limitação.

Na sequência, utilizou-se um teste de variância para analisar se existe variabilidade significativa no IQA entre os pontos de monitoramento. Existem diversos testes que fazem esse tipo de análise, mas o mecanismo padrão é o mesmo, o teste de significância da hipótese nula. Segundo Ellenberg (2015), esse tem sido o método padrão para avaliar resultados de pesquisas científicas há quase um século. O teste em específico depende da distribuição amostral, sendo o ANOVA um exemplo de teste para dados que seguem uma distribuição normal e o teste de Kruskal - Wallis mais comumente usado quando não se sabe qual é a distribuição em que se enquadram os dados amostrais ou quando se sabe que a amostra não segue uma distribuição normal.

Posterior a análise de variância, procedeu-se com as análises de comparação múltipla através do teste de Tukey. Esse teste, também a um nível de significância de 5%, discretiza entre quais pontos especificamente acontece essa variação. Para complementar a análise de comparações múltiplas, foi plotado um gráfico de caixa (box-plot) para melhor visualizar a variação do índice



de qualidade entre cada um dos pontos de monitoramento da Lagoa Mirim abordados por esse estudo.

Índice Percentual de Violação (PV)

O Índice percentual de violação foi calculado para cada ponto de coleta, considerando a classificação de cada local de monitoramento de acordo com os limites legalmente estabelecidos pela resolução CONAMA n° 357/05. Vale destacar que de acordo com o Relatório Anual de Qualidade Ambiental do município de Pelotas (RAMB, 2016), ainda não existe uma resolução que aprove o enquadramento de águas referentes à Bacia Hidrográfica da Mirim - São Gonçalo. Com isso, conforme Artigo 42 da resolução do CONAMA 357/2005, é estabelecido que enquanto não for aprovado o respectivo enquadramento para determinado corpo hídrico o mesmo deverá ser considerado como classe 2 (BRASIL, 2005). O cálculo do Percentual de Violação se deu conforme apresentado na Equação 1.

$$PV = (NAA * 100) / NAT \quad \text{Eq. 1.}$$

Onde PV é o Percentual de Violação (%), NAA é o número de amostras em cada ponto de monitoramento que ficaram acima do permitido pela legislação para determinado parâmetro e NAT é o número total de amostra por ponto para um determinado parâmetro.

Os limites conforme a resolução CONAMA n° 357/05 para os parâmetros utilizados na análise do PV são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. limites estabelecidos pela resolução CONAMA n° 357/05 para águas doces de classe II

Parâmetro	Classe 2
C. Termo. (NMP/100mL)	≤ 1000
DBO (mg/L O ₂)	≤ 5
Fósforo total (mg/L P)	≤ 0,03
Nitrogenio total (mg/L N)	≤ 1,27
OD (mg/L O ₂)	≥ 5
pH	6 a 9
Turbidez (UNT)	≤ 100

Fonte: CONAMA (2005)

Resultados e discussão

Teste de Kolgomorov-Smirnov (K-S)

Conforme descrito, primeiramente foram analisados os resultados de IQA para os sete pontos de monitoramento da Lagoa Mirim aqui estudados, afim de avaliar a distribuição



amostral ao qual se enquadram. Para isso, utilizou-se o teste de normalidade K-S, o qual análise uma hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal e, a um nível de significância de 5%, confirma essa hipótese para p-valor superior a 0,05 ou rejeita a mesma para p-valor inferior a 0,05. Segundo esse teste, obteve-se um p-valor igual a 0,083, confirmando a normalidade amostral.

Análise de variância e comparações múltiplas

Com base no resultado do teste K-S, confirmou-se a normalidade amostral dos dados de IQA estudados. Sendo assim, para a análise de variância será utilizado o teste ANOVA, sendo este um teste paramétrico e, por isso, pressupõe que os dados seguem uma distribuição normal (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Esse teste é um teste de significância que tem por objetivo avaliar se existe variação significativa entre os dados analisados em função de um fator específico. Para esse estudo, analisou-se a variação dos valores de IQA entre os pontos de monitoramento. Nesse tipo de teste, uma hipótese nula (H_0) é avaliada dentro de um limiar pré-determinado, podendo-se essa hipótese ser retida ou rejeitada. A esse limiar dá-se o nome de nível de significância e ele representa o limite superior da probabilidade de observação de algum evento se a hipótese nula for verdadeira. Rejeitamos, então, a hipótese nula se houver uma chance menor que o limiar definido de encontrar um resultado que classifique a hipótese nula como verdadeira (WHEELAN, 2016). O resultado desse teste pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Análise de variância - ANOVA

	Grau de liberdade	Sig (p-valor)
IQA - Variação entre grupo	6	0,043

Fonte: Org. do Autor

Como pode ser observado na Tabela 4, obteve-se um p-valor inferior a 0,05, demonstrando, a um nível de significância de 5%, que há variação significativa nos valores de IQA tendo como fator de comparação os pontos de monitoramento. Ainda, cabe salientar que o teste ANOVA não consegue discretizar entre quais pontos ocorre essa significância. Para isso, utilizou-se o teste de Tukey, também a um limiar de 0,05. Os resultados desse teste podem ser observados no Apêndice I. Segundo esse teste, somente houve variabilidade significativa entre os pontos LM5 e LM7 (p-valor igual a 0,012). A distribuição dos valores de IQA nos pontos de monitoramento pode ser melhor visualizada na Figura 2.

Conforme pode ser observado nos box-plots na Figura 2, de fato as médias e medianas dos valores de IQA são bastante próximas entre os pontos de monitoramento, exceto quando comparamos os pontos LM5 e LM7, corroborando os resultados encontrados pelo teste de Tukey. Ainda, pode-se observar que os pontos LM5 e LM6 são os que apresentaram maior desvio dos valores em relação a média, mostrando que esses pontos sofrem maiores variações de qualidade.

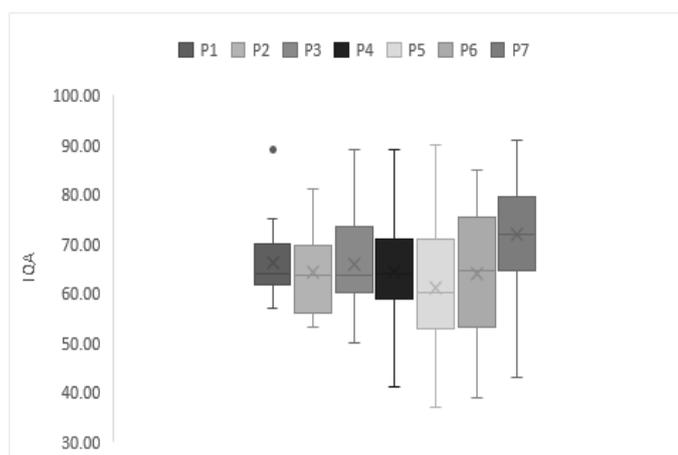


Figura 2. Box-plot dos valores de IQA para cada ponto de monitoramento

Índice percentual de violação (pv)

O percentual de violação de cada parâmetro para cada ponto pode ser visualizado na Figura 3. Como pode ser observado na Figura 3, o fósforo (P) foi o parâmetro que mais violou o limite permitido pela legislação em vigência com resultados acima de 77% de violação para todos os pontos. O nitrogênio (N) foi outro parâmetro que violou o limite em todos os pontos de coleta. Segundo Lima et al., (2016), o P e N estão entre os principais nutrientes para o desenvolvimento de processos biológicos, onde, em altas concentrações podem ocasionar a eutrofização do corpo hídrico. No estudo publicado por Vieira et al., (2019) é abordado que a Lagoa Mirim encontra-se em área agrícola quase em sua totalidade, o que pode justificar a violação destes parâmetros (N e P) nas coletas para os pontos estudados.

Outro parâmetro que se destaca quanto ao índice de violação é o parâmetro Coliformes. A presença do mesmo nas águas superficiais pode estar relacionado, conforme Santos et al., (2020), a fontes de poluição agrícola e/ou de esgotos domésticos. O trabalho de Guedes et al., (2017) corrobora para tal resultado, onde mostrou que os coliformes estão associados a degradação da qualidade da água da Lagoa em questão, principalmente associada ao lançamento de esgotos domésticos.

Ainda, o trabalho desenvolvido por Drose et al., (2020) mostra que a Lagoa Mirim pode estar sendo influenciada por fontes de poluição antrópica como despejo de efluentes. Este mesmo estudo ainda traz os parâmetros OD e DBO como indicadores de poluição provenientes de esgotos doméstico e associa a turbidez a poluição física e mineral na Lagoa Mirim.

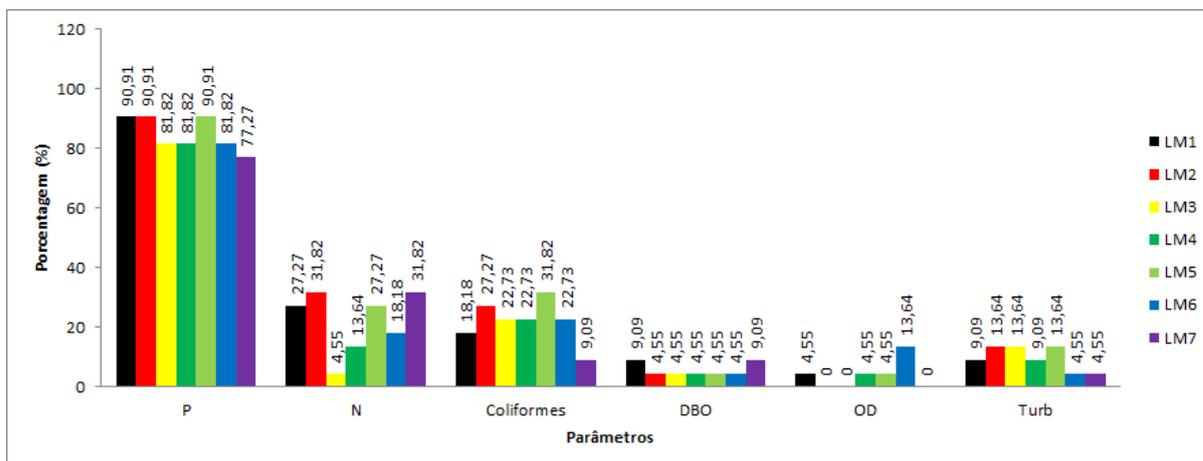


Figura 3. Gráfico - índice percentual de violação

Conclusão

Com base nos resultados observados, pode-se concluir que o índice de violação e o IQA demonstraram-se como boas ferramentas para a análise da qualidade do recurso hídrico aqui estudado, mostrando que os parâmetros fósforo, nitrogênio e coliformes termotolerantes foram os que mais violaram os valores estabelecidos pela legislação vigente. No que concerne às análises estatísticas, pode-se concluir que apesar de haver variabilidade significativa entre os pontos de monitoramento, conforme demonstrado pelo teste ANOVA, essa significância ocorreu apenas entre os pontos LM5 e LM7, o que mostra que, de forma geral, os pontos de monitoramento da Lagoa Mirim não divergem em qualidade. Ou seja, através desses resultados é possível concluir que esses locais sofrem as mesmas alterações advindas de atividades urbanas e/ou agrícolas.

Ainda, no que compete ao índice de violação, pode-se perceber que a Lagoa Mirim, de modo geral, vem sofrendo degradação devido a atividades antrópicas desenvolvidas no seu entorno, como, por exemplo, a produção agrícola e o descarte de esgotos domésticos. Por esses motivos, o desenvolvimento de ações que projetam a preservação da bacia hidrográfica se faz necessário, a fim de garantir a qualidade da água para os usos exigidos pela população e ajudar na conservação dos processos ecológicos e das comunidades aquáticas.

Conflito de interesses

Os autores deste manuscrito não declararam conflitos de interesse.



Referências

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Cadernos De Recursos Hídricos 1. Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil. Brasília: ANA, SPR, 2005. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua/qualidade-da-agua>>. Acesso: 24 de setembro de 2020.

APHA. **STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER**. 23.ed. Washington, DC, EUA: American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF), 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso: 24 de setembro de 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso: 24 de setembro de 2020.

DANTAS, M. S.; OLIVEIRA, J. C.; PINTO, C. C.; OLIVEIRA, S. C. Impact of fecal contamination on surface water quality in the São Francisco River hydrographic basin in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Water and Health**. v. 18, n. 1, p. 48 - 59, 2020.

DROSE, A.; VALENTINI, M.; DUARTE, V.; SANTOS, G.; NADALETI, W.; VIEIRA, B. Utilização de Métodos Estatísticos Multivariados no Monitoramento da Lagoa Mirim. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.2, n.4, p.58-67, 2020.

ELLENBERG, J. **O poder do pensamento matemático: a ciência de como não estar errado**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2015.

FATHI, E.; AHMADMAHMOOD, Z. R.; BIDAKI, Z. R. Water quality evaluation using water quality index and multivariate methods, Beheshtabad River, Iran. **Applied Water Science**. v. 210, p. 1-6, 2018.

TORMAM, M. F.; BORK, C. K.; GUEDES, H. A. S.; MANZKE, J.; FERRÃO, A. L. Variabilidade sazonal da qualidade da água na Lagoa Mirim, Rs, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.4, n.2, p.54-59, dez. 2017.

LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; BARBOSA, C. C. F.; ROTUNNO FILHO, O. C. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.21, n.1, p.139-150, 2016.

MUSTAFA, S.; BAHAR, A.; AZIZ, A. Z.; DARWISH, M. Solute transport modelling to manage groundwater pollution from surface water resources. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 233, 2020.



OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER JUNIOR, O. O.; COLLARES, G. L. Processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 34-45, 2015.

RAMB. Relatório Anual de Qualidade Ambiental do município de Pelotas. Secretaria de Qualidade Ambiental, Pelotas. 2006. Disponível em: <https://www.pelotas.com.br/storage/servicos/meio-ambiente/Ramb_2016_final.pdf>. Acesso: 24 de setembro de 2020.

SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; SILVA, L. A.; FRANZ, H. S.; CORRÊA, B. L.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M. G.; VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; LEANDRO, D.; VIEIRA, B. M. Avaliação dos parâmetros e do índice de qualidade de água para o Arroio Moreira/Fragata, Pelotas/RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 287 - 299, 2020.

SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; SILVA, L. A.; FRANZ, H. S.; CORRÊA, B. L.; DUARTE, V. H.; SILVA, M. A.; CORRÊA, M. G.; VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M. Análise da qualidade das águas do Arroio Moreira/Fragata (RS) através de métodos estatísticos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.4, p.217-226, 2020.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; DUARTE, V. H.; DRÖSE, A.; VIEIRA, B. M.; VIANA, F. V.; CORRÊA, B. L.; GUEDES, H. A. S.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M. Monitoring and identification of pollutant groups of the Lagoa Mirim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 227 - 235, 2020.

VAROL, M. Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressor: a case study. **Environmental Pollution**. v. 266, p. 1- 10, 2020.

VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M. G.. Avaliação e comparação da qualidade das águas entre o canal São Gonçalo e a Lagoa Mirim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.185-196, 2019.