



**Linear regression analysis applied to the modeling of a new equation for monitoring water quality - Stream Moreira/Fragata case study**

**Análise de regressão linear aplicada à modelagem de uma nova equação para o monitoramento de qualidade da água: estudo de caso do Arroio Moreira/Fragata**

<sup>1</sup>Gabriel Borges dos Santos, <sup>2</sup>Marlon Heitor Kunst Valentini, <sup>3</sup>Bruno Müller Vieira.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), e-mail: [gabrielwxsantos@hotmail.com](mailto:gabrielwxsantos@hotmail.com);

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), e-mail: [marlon.valentini@hotmail.com](mailto:marlon.valentini@hotmail.com);

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), e-mail: [bruno.prppg@hotmail.com](mailto:bruno.prppg@hotmail.com)

**E-mail do autor correspondente:** [gabrielwxsantos@hotmail.com](mailto:gabrielwxsantos@hotmail.com);

**Resumo** - No Brasil, a principal fonte de água doce potável são os rios, porém isso não impede de que fiquem expostos aos efeitos das atividades humanas. Mediante isso, surgem metodologias que ajudam no monitoramento da qualidade hídrica, como, por exemplo, métodos estatísticos e o Índice de Qualidade da Água (IQA), ambas ferramentas matemáticas que tem a capacidade de transformar uma variação grande de valores numéricos em resultados de fácil interpretação. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver e avaliar uma nova equação de IQA, para o Arroio Moreira/Fragata, utilizando modelos de análise de regressão linear e comparar os resultados obtidos por essa nova equação com os resultados da equação original. Através dos modelos utilizados, foi possível criar uma nova equação de IQA utilizando apenas três variáveis, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido e turbidez, e gerando resultados sem diferença significativa daqueles gerados pela equação da CETESB. A diminuição na quantidade necessária de variáveis para calcular a qualidade hídrica pode ser considerada uma grande vantagem, uma vez que causa uma economia financeira e maior facilidade técnica para o monitoramento dos recursos hídricos.

**Palavras-Chaves:** Qualidade. regressão linear. significância.

**Abstract** - In Brazil, the main source of drinking water is rivers, but this does not prevent them from being exposed to the effects of human activities. As a result, there are methodologies that help in monitoring water quality, such as, for example, statistical methods and Water Quality Index (WQI), both mathematical tools that have the ability to transform a wide range of numerical values into easy results interpretation. Therefore, this work aims to develop and evaluate a new WQI equation, for Arroio Moreira / Fragata, using linear regression analysis models and to compare the results obtained by this new equation with the



results of the original equation. Through the models used, it was possible to create a new WQI equation using only three variables, thermotolerant coliforms, dissolved oxygen and turbidity, and generating results without a significant difference from those generated by the CETESB equation. The decrease in the necessary quantity of variables to calculate water quality can be considered a great advantage since it causes financial savings and greater technical facility for monitoring water resources.

**Keywords:** Quality. linear regression. significance.

## **Introdução**

Segundo Abreu e Cunha (2015), a qualidade da água está diretamente ligada às suas características físicas, químicas e biológicas. A alteração dessas características pode ocorrer, de acordo com Massoud (2012), devido aos efeitos agregados de vários processos ao longo do caminho percorrido pela água na bacia hidrográfica.

Fatores como o crescimento populacional e o aumento das atividades produtivas são exemplos de processos que alteram a qualidade da água (Ramachandra et al., 2014; Peixoto et al., 2014). Resíduos gerados por essas atividades se lançados em corpos hídricos sem o tratamento adequado podem agredir o potencial natural autodepurativo das águas (Ren et al., 2013).

Devido a esses problemas ambientais, gestores buscam soluções para mitigar e/ou suprimir seus efeitos, porém definir qual a alternativa mais apropriada pode não ser uma tarefa fácil. Implicações financeiras e ambientais de acordo com Zhang et al. (2008) são alguns exemplos que interferem na escolha.

Um dos problemas enfrentados em monitoramentos ambientais é a geração de grandes quantidades de dados difíceis de analisar e interpretar. Assim, surge os métodos estáticos, os quais permitem resumir informações significativas sem que os dados percam a exatidão (Liao et al., 2008; Zhao et al; 2011). Um exemplo de método estatístico muito utilizado é a regressão linear, que pode ser definida como um conjunto grande de técnicas estatísticas usadas para modelar relações entre variáveis (Maroco, 2010).

Segundo Silveira et al. (2014) e Cunha et al. (2013), outro método muito utilizado no monitoramento da qualidade da água, além do emprego de métodos estatísticos, é o Índice de Qualidade da Água (IQA), pois reduz custos e tempo, e também facilita a obtenção de informações e resultados resumidos, de fácil interpretação.

O IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF) em 1970 nos Estados Unidos e tem por objetivo comparar e monitorar as alterações na qualidade dos corpos hídricos. No Brasil, com a ideia de adaptar o IQA desenvolvido pela NSF, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) alterou esse índice para melhor se



enquadrar aos recursos hídricos brasileiros tendo como objetivo principal a avaliação qualitativa de mananciais utilizados para abastecimento público (ANA, 2017).

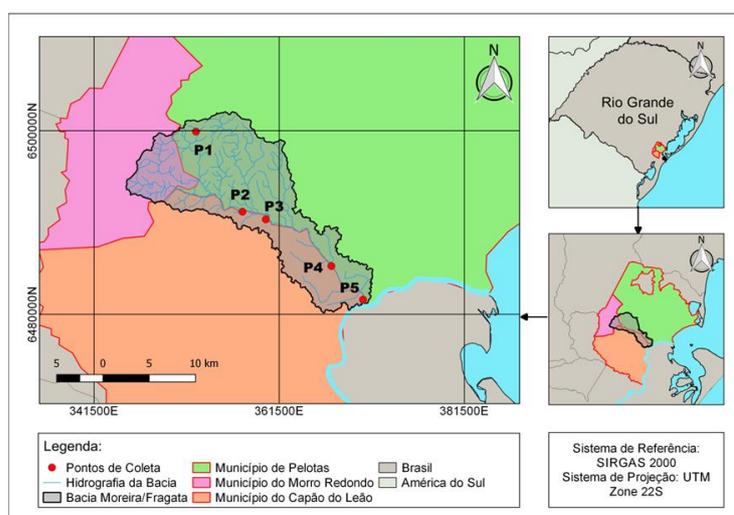
Esse IQA adaptado pela CETESB é constituído de nove parâmetros, onde cada um recebe um peso de acordo com seu grau de importância na conformação global da qualidade da água (Sun et al, 2016; Moretto et al, 2012). Diante disso o presente trabalho teve por objetivo, avaliar o desenvolvimento de uma nova equação de IQA, para o Arroio Moreira/Fragata no município de Pelotas-RS, utilizando modelos de análise de regressão linear e comparar os resultados obtidos por essa nova equação com o IQA original desenvolvido pela CETESB.

## Metodologia

### Caracterização da área de estudo e pontos de coleta

O estudo foi realizado na Bacia hidrográfica do Arroio Moreira/Fragata (Figura 1), que se encontra inserida na grande Bacia Hidrográfica Litorânea do estado do RS abrangendo uma área de 228 km<sup>2</sup> entre três municípios diferentes: Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão (SIQUEIRA, 2018).

O arroio principal da bacia é o Moreira/Fragata, o mesmo possui 37,9 km de extensão e é utilizado para o abastecimento de água do município de Pelotas (HANSMANN, 2013; VALADÃO, et al; 2018). Os pontos de coleta, utilizados neste estudo, no Arroio Moreira/Fragata também são representados na Figura 1.



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Moreira/Fragata e dos pontos de coleta.



A justificativa para a escolha dos 5 pontos de coletas, apresentados na Figura 1, se deu através das descrições exibidas na Tabela 1. A Tabela 1 também traz as coordenadas geográficas dos pontos de coleta com sistema de referência geodésico WGS 84, obtidas através do programa Google Earth.

**Tabela 1:** Pontos de coleta.

Pontos	Descrição	Localização	
		Coordenada (S)	Coordenada (W)
P1	Nascente com a cota mais alta	31°37'06.92''	52°33'46.39''
P2	Pós Estação de Tratamento de Água Arroio Moreira	31°42'23.57''	52°30'12.98''
P3	Pós Arroio Michaela (um dos afluentes da bacia)	31°42'50.22''	52°28'37.01''
P4	Área urbana de Pelotas	31°45'39.10''	52°24'09.85''
P5	Exutório (Canal São Gonçalo)	31°47'45.71''	52°22'08.57''

### Coletas e parâmetros determinados

Para a realização do estudo foram utilizados os dados de qualidade da água de 6 campanhas de coletas, realizadas através do monitoramento no ano de 2017 e de 2018, mais especificadamente, três coletas no ano de 2017 (maio, junho e julho) e três no ano de 2018 (fevereiro, março e abril), isso em decorrência das atividades industriais e agrícolas serem mais acentuadas no local do estudo nestes períodos.

As coletas, transporte, preservação das amostras e os métodos analíticos, seguiram os procedimentos definidos pela Associação Americana de Saúde Pública descritas no *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2017).

Todas as análises foram realizadas junto a Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim (ALM), pertencente à Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), localizada na cidade de Pelotas (RS). As análises realizadas foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, potencial hidrogeniônico, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais e coliformes termotolerantes.

### Índice de Qualidade da Água (IQA)

Para realização do cálculo do IQA neste estudo considerou-se a adaptação feita pela CETESB a partir dos parâmetros definidos pela NSF (CETESB, 2017). As análises utilizadas para o cálculo são as mesmas mencionadas no tópico anterior.

No entanto o índice de qualidade de água é obtido através do produto ponderado correspondente aos parâmetros estabelecidos, conforme mostra a Equação 1. Esse cálculo resulta em um número que varia de uma faixa de valores entre 0 e 100.



$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi}$$

Equação 1

Onde:

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1,.

Cada parâmetro considerado dentro do cálculo do IQA possui um peso (wi), atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade da água (CETESB, 2017). Os pesos utilizados no cálculo do IQA, estabelecidos pela NSF e utilizado pela CETESB, são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 1:** Pesos relativos dos parâmetros para o cálculo do IQA

Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos	
Parâmetros	Pesos
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: ANA (2017).

Assim, com o resultado do IQA foi possível classificar as informações coletas de qualidade da água nos pontos estudados no Arroio Moreira/Fragata de acordo com a classificação proposta para Rio Grande do Sul (Tabela 3).

**Tabela 3:** 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

### Teste de Normalidade



A fim de avaliar a distribuição dos dados analisados neste estudo, procedeu-se com testes de normalidade. Para comprovar ou rejeitar a normalidade dos dados utilizou-se os testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Shapiro-Wilk (S-W) a um nível de significância de 0,05. Para estes testes, a hipótese nula ( $H_0$ ) considera a distribuição como sendo normal e para  $p$ -valor  $<0,05$  essa hipótese é rejeitada.

### **Análise de correlação**

Com o objetivo de avaliar a correlação entre as variáveis químicas e microbiológicas estudadas, foi utilizada uma matriz de correlação com seus coeficientes e significâncias, sendo que o coeficiente a ser utilizado depende da distribuição dos dados. Para dados que seguem uma distribuição normal, por exemplo, o coeficiente de Pearson é o mais comumente utilizado, já para dados que não possuem normalidade amostral recomenda-se coeficientes não paramétricos, tais como o coeficiente Spearman  $R_{\rho}$ , também conhecido como coeficiente de Spearman (GUIMARÃES, 2017).

### **Análise de Regressão – construção de uma nova equação de IQA**

Segundo Wheelan (2016), a análise de regressão permite avaliar quantitativamente a relação que variáveis específicas tem com um resultado de interesse. Essa análise usa, tipicamente, uma metodologia chamada mínimos quadrados ordinários (MQO) que encaixa uma reta, no gráfico de dispersão das variáveis, que minimiza a soma dos residuais elevados ao quadrado. Em outras palavras, através do método MQO, a análise de regressão linear traça uma reta com encaixe mais acurado no centro da distribuição dos dados, minimizando seus residuais.

Primeiramente, serão avaliados modelos de regressão utilizando todas as variáveis que apresentarem correlação significativa segundo a matriz de correlação já mencionada e, posteriormente, será extraída a equação do modelo que apresentar melhores ajustes. Essa equação, então, será utilizada no cálculo de um novo índice de qualidade da água para o recurso hídrico aqui estudado, utilizando somente as variáveis estabelecidas pela análise de regressão.

### **Teste t**

De posse da nova equação de IQA e já calculados esse novo índice para cada amostra, procede-se com o teste t de Student para avaliar se houve variação entre o IQA original e o IQA novo. Esse teste será feito para os resultados numéricos de IQA e para suas faixas de qualidade.



O teste t para amostras pareadas mede a significância da variação entre pares de amostras que não são independentes. Uma vez que os resultados do IQA original foram utilizados para fazer a análise de regressão, os resultados do novo IQA não são independentes a estes, por isso o uso do teste t pareado.

Esse teste, assim como todo teste de significância, é um teste de hipóteses que tem por objetivo avaliar uma hipótese nula e uma alternativa. Segundo esse teste, se  $p$ -valor  $<0,05$ , rejeita-se a hipótese nula, que diz que não há variação significativa entre o IQA original e o IQA novo, com 95% de confiança. Ou seja, se  $p > 0,05$  os índices – original e novo – não são significativamente diferentes.

## Resultados

### IQA Original

Conforme já abordado, o IQA original, desenvolvido pela NSF nos EUA e adaptado no Brasil pela CETESB, é calculado pelo produto ponderado de cada um de seus nove parâmetros. Para esse estudo, foi calculado o IQA de 5 pontos de monitoramento em 6 coletas, gerando 30 resultados de IQA, conforme demonstrado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Resultados do IQA original por coleta e ponto de monitoramento

Coleta	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
1	67	64	63	53	69
2	72	61	62	61	64
3	81	62	63	61	75
4	72	71	67	50	53
5	76	81	74	53	61
6	83	70	69	55	77

No Brasil o IQA original adaptado pela CETESB é amplamente usado, estudos como o de Vieira et al., (2019) já o utilizou na avaliação da qualidade da Lagoa Mirim – RS, ao qual constatou uma provável influência de atividades antrópicas na qualidade da mesma. Silva e Lourenço (2016) também utilizaram o IQA para avaliar a qualidade do Arroio Ouro Verde em Foz do Iguaçu – PR.

### Teste de normalidade

Todas as variáveis relativas ao IQA original, bem como o próprio resultado desse índice, foram avaliadas quanto a sua distribuição amostral. Segundo os testes K-S e S-W, a maioria das variáveis não segue uma distribuição normal, pois obtiveram  $p$ -valor  $<0,05$ . Sendo assim, o coeficiente de correlação utilizado na próxima etapa do estudo será o coeficiente de Spearman.



## Matriz de correlação

Uma vez avaliada a distribuição amostral dos dados, segue-se com a matriz de correlação. Essa matriz, com seus coeficientes e p-valores de significância pode ser observada na Tabela 5. O foco é dado nas correlações dos parâmetros com o resultado final do IQA original, pois são essas correlações que serão utilizadas para definir os modelos de regressão posteriormente.

**Tabela 5:** Coeficientes de correlação Parâmetro - IQA original e suas respectivas significâncias

IQA	Temp.	pH	Turb.	OD	DBO	Coli. Termo.	N	P	ST
C.	-0,189	0,059	<b>-0,495</b>	<b>0,406</b>	-0,316	<b>-0,755</b>	-0,263	<b>-0,597</b>	<b>-0,434</b>
Sig	0,317	0,755	<b>0,005</b>	<b>0,026</b>	0,089	<b>0,000</b>	0,161	<b>0,000</b>	<b>0,017</b>

Como pode ser observado na Tabela 5, as variáveis turbidez, OD, coliformes termotolerantes, fósforo e sólidos totais possuem correlação significativa com o resultado do IQA original. Essas variáveis possuíram correlação significativa com o IQA, pois segundo ANA (2005), todas são advindas de fontes de poluição agrícola e/ou de esgotos domésticos, por isso as mesmas serão avaliadas nos modelos de regressão linear.

Ao avaliar a intensidade da correlação, utiliza-se o limiar definido por Helena (2000) que diz que correlações com coeficiente igual ou superior a 0,5, em módulo, são correlações fortes. Sendo assim, as correlações fósforo – IQA original e coliformes termotolerantes – IQA original são fortes, além de significativas. Cabe salientar que correlações negativas são inversamente proporcionais, ou seja, o aumento nas concentrações de fósforo e coliformes termotolerantes diminui o resultado do IQA.

## Análise de Regressão Linear

Sabendo quais variáveis possuem correlação significativa com o IQA original, utiliza-se essas para a construção do modelo de regressão linear. A sumarização dos modelos dessas 5 variáveis pode ser visualizada na Tabela 6.

Conforme pode ser observado, a adição de preditores nos modelos 1, 2 e 3 causa variação significativa na regressão, já a adição dos preditores sólidos totais e fósforo nos modelos 4 e 5, respectivamente, não causou variação significativa. Isso ocorre, pois há colinearidade entre as variáveis coliformes termotolerantes e fósforo e entre as variáveis turbidez e sólidos totais. A presença, por exemplo, dos coliformes e fosforo nas águas



superficiais pode estar relacionado, conforme Santos et al. (2020), a fontes de poluição agrícola e/ou de esgotos domésticos.

Essa sumarização indica que o modelo 3 já é suficiente para essa análise de regressão. Daqui para frente, seguimos com os preditores do modelo 3.

**Tabela 6:** Análise de Regressão Linear - sumarização dos modelos

Modelo	R	R Quadrado	R Quadrado ajustado	Mudança de R Quadrado	Significância
1	,745 <sup>a</sup>	0,555	0,539	0,555	0,000
2	,904 <sup>b</sup>	0,817	0,803	0,261	0,000
3	,927 <sup>c</sup>	0,858	<b>0,842</b>	0,042	0,010
4	,927 <sup>d</sup>	0,859	0,836	0,001	<b>0,753</b>
5	,927 <sup>e</sup>	0,860	0,831	0,001	<b>0,649</b>
<p><b>a.</b> Preditores: (constante), coliformes Termotolerantes  <b>b.</b> Preditores: (constante), coliformes termotolerantes, OD  <b>c.</b> Preditores: (constante), coliformes termotolerantes, OD, turbidez  <b>d.</b> Preditores: (constante), coliformes termotolerantes, OD, turbidez, sólidos totais  <b>e.</b> Preditores: (constante), coliformes termotolerantes, OD, turbidez, sólidos totais, fósforo</p>					

Ainda sobre a Tabela 6, cabe salientar o “R Quadrado ajustado”. Segundo Wheelan (2016), o R<sup>2</sup>, aqui usado R<sup>2</sup> ajustado, é uma medida do tamanho total da variação que é explicado pela equação de regressão desse modelo. Para o modelo 3 da análise de regressão desse estudo, temos um R<sup>2</sup> ajustado igual a 0,842, o que significa que esse modelo explica 84,2% da variação do IQA nessa regressão.

Na Tabela 7, agora trabalhando só até o modelo 3, é apresentado o ANOVA desses modelos. Nessa tabela, pode-se observar a diminuição dos resíduos e dos quadrados médios ao longo dos modelos e a significância da variação de um modelo para outro. O modelo 3 apresenta os menores resíduos, demonstrando que esse é o melhor modelo a ser utilizado. O teste ANOVA confirma a variação significativa entre os modelos, ou seja, confirma que há ganho de informação com a adição de preditores até o modelo 3, conforme já observado na sumarização desses modelos.

**Tabela 7:** ANOVA para os modelos de regressão 1, 2 e 3

Modelo	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Sig.
1			
Regressão	1264,341	1264,341	,000
Resíduo	1012,326	36,154	
Total	2276,667		
2			
Regressão	1859,254	929,627	,000
Resíduo	417,412	15,460	
Total	2276,667		
3			
Regressão	1954,317	651,439	,000
Resíduo	<b>322,349</b>	<b>12,398</b>	



Total	2276,667
-------	----------

Os coeficientes da equação da regressão linear, utilizando o modelo 3, podem ser visualizados na Tabela 8. Dessa tabela extraísse a Equação 2 que, doravante, será a equação do novo IQA relativa a esse estudo.

**Tabela 8:** Coeficientes do modelo 3 da análise de regressão linear

Modelo	Coeficientes		Erro padrão	Significância
	(Constante)	57,904	2,842	0,000
3	Coliformes Termotolerantes	-0,008	0,001	0,000
	OD	2,902	0,396	0,000
	Turbidez	-0,102	0,037	0,010

$$Y = 57,904 - 0,008xX_1 + 2,902xX_2 - 0,102xX_3 \quad \text{Equação 2}$$

Onde Y é o resultado do IQA novo, X<sub>1</sub> é a concentração de coliformes termotolerantes, X<sub>2</sub> é a concentração de OD e X<sub>3</sub> é a turbidez.

Para avaliar o ajuste da equação, procede-se com a estatística dos resíduos. Esses valores podem ser visualizados na Tabela 9. Conforme observado nessa tabela, os resíduos e os valores preditos padrão estão dentro de um intervalo de três desvios padrão para mais ou para menos, corroborando a adequabilidade da equação gerada. O histograma dos resíduos padronizados e o gráfico das probabilidades cumulativas esperada e observada são apresentados nas Figuras 2 e 3, que demonstram o ajuste da regressão.

**Tabela 9:** Estatística dos resíduos

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	N
Valor predito	52,4024	81,7391	66,3333	8,20916	30
Resíduo	-9,90024	5,73926	0,00000	3,33399	30
Valor Predito Padrão	<b>-1,697</b>	<b>1,877</b>	0,000	1,000	30
Resíduo Padrão	<b>-2,812</b>	<b>1,630</b>	0,000	0,947	30

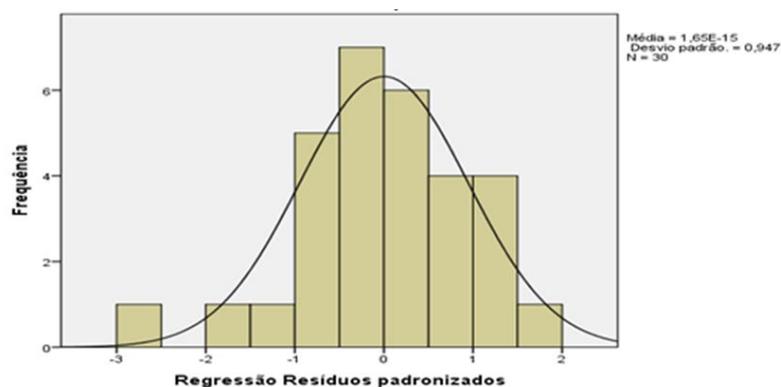


Figura 2: Histograma da regressão dos resíduos padronizados

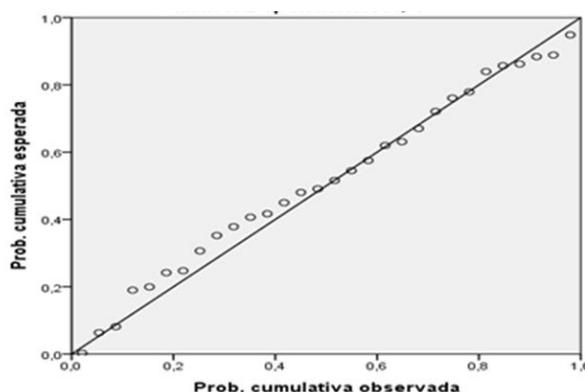


Figura 3: Gráfico de dispersão da regressão dos resíduos padronizados

## IQA Novo

Através da Equação 2, calculou-se os novos resultados de IQA, apresentados na Tabela 10. Vale ressaltar que o IQA original utiliza nove parâmetros, enquanto o IQA novo, apenas 3.

Tabela 10: Resultados do IQA Novo por coleta e ponto de monitoramento

Coleta	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
1	66	61	59	54	69
2	77	62	61	57	67
3	82	67	66	60	71
4	72	72	69	52	63
5	76	79	76	53	60
6	77	66	66	53	73



Utilizando as faixas de qualidade descritas na Tabela 3 para classificar os resultados do novo IQA e comparando essas faixas com as relativas ao IQA original, somente em dois casos houve mudança de faixa. Isso quer dizer que para 93,3% dos resultados, o IQA original e o IQA novo se enquadraram dentro da mesma faixa de qualidade.

### Teste t

Por fim, de posse dos resultados do IQA original e do IQA novo, avalia-se se houve variabilidade significativa entre os dois, para seus resultados numéricos e suas faixas de qualidade. Essa análise é feita pelo teste t de Student para amostras pareadas e seus resultados podem ser observado na Tabela 11. Vale ressaltar que a faixa de qualidade segue a mesma apresentada na Tabela 3.

**Tabela 11:** Teste t para amostras pareadas

		Média	Desvio Padrão	Erro Padrão da Média	95% Intervalo de Confiança da Diferença		Significância
					Inferior	Superior	
Par 1	IQA original – IQA novo	0,148	3,336	0,609	-1,097	1,394	<b>0,809</b>
Par 2	Faixa IQA original - Faixa IQA novo	0,000	0,263	0,048	-0,098	0,098	<b>1,000</b>

O teste t para amostras pareadas considera uma hipótese nula em que não há variabilidade significativa entre os componentes do par avaliado. Sendo assim, para p-valor <0,05, rejeita-se a hipótese nula e confirma-se a significância dessa variação. Para os dados desse estudo, o teste t, cujo resultados podem ser observado na Tabela 8, obteve p-valor >0,05 retendo a H0 e, então, confirmando que não há variação significativa entre o IQA original e o IQA novo.

A retenção da hipótese nula e consequente rejeição da hipótese alternativa era o pretendido por esse estudo, uma vez que objetivava justamente a construção de um novo IQA utilizando menos variáveis. Segundo Silva e Jardim (2006), reduzir a quantidade de variáveis analisadas para o IQA pode gerar uma série de vantagens, como, por exemplo, economia financeira por parte dos gestores da bacia hidrográfica e a diminuição do chamado efeito eclipse. Esse efeito se dá pela atenuação, por exemplo, do impacto negativo de uma das variáveis em decorrência da estabilidade das outras e ocorre como resultado da agregação de diversas variáveis e um único número (SILVA E JARDIN, 2006).

Estudo como de Cecconello et al., (2018) ao qual desenvolveu um índice de qualidade de água modificado, por meio de análises multivariadas, e comparou com o índice utilizado pela CETESB, para ser aplicado no Arroio Pelotas – RS, mostrou a necessidade da readequação desse índice para esse ecossistema específico, pois foram obtidos pesos



diferentes dos utilizados pela CETESB para todas as variáveis que compõem o cálculo do IQA.

### **Considerações finais**

Foi possível utilizar análise de regressão para gerar uma nova equação de IQA para o recurso hídrico aqui estudado, sem que haja alteração significativa nos resultados desse índice. Essa nova equação de IQA utiliza apenas três variáveis, coliformes termotolerantes, OD e turbidez, facilitando o monitoramento desse recurso hídrico, afinal uma quantidade menor de variáveis a serem analisadas acaba tornando o monitoramento menos oneroso financeiramente.

Através dos resultados obtidos por esse estudo, pode-se concluir, também, que a utilização de métodos estatísticos é uma ferramenta de grande utilidade no monitoramento da qualidade hídrica. Afinal, foi através desses métodos que foi possível a modelagem de uma equação de IQA com menos variáveis, para o arroio Moreira/Fragata, o que pode proporcionar um monitoramento qualitativo mais economicamente atrativo.

### **Conflito de interesses**

Os autores deste manuscrito não declararam conflitos de interesse.

### **Referencias**

ABREU, C.H.M.; CUNHA, A.C. Qualidade da Água em Ecossistemas Aquáticos Tropicais Sob Impactos Ambientais no Baixo Rio Jari-AP: Revisão Descritiva. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 119-131. 2015.

ANA - Agência Nacional De Águas. **Cadernos De Recursos Hídricos 1**. Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil. Brasília: ANA, SPR, 2005.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua/indicadores-de-qualidade>>. Acesso em: 25 de abril de 2017.

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.



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.

CECCONELLO, S.T.; CENTENO, L. N.; GUEDES, H. A. S. Índice de qualidade de água modificada pela análise multivariada: estudo de caso do Arroio Pelotas, RS, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2018;23(5):973-8.

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

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

GUIMARÃES, P. R. B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. Universidade Federal do Paraná. 2013.

HANSMANN, H. Z. **Descrição e Caracterização das Principais Enchentes e Alagamentos de Pelotas-RS**. 2013. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Ambiental E Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in the alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.34, p.807-816, 2000.

LIAO, S. W.; GAU, H. S.; LAI, W. L.; CHEN, J. J.; LEE, C. G. Identification of pollution of Tapeng Lagoon from neighbouring rivers using multivariate statistical method. **Journal of Environmental Management**, v.88, p.286-292, 2008.

MASSOUD, M. F. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4151-4160, 2012.

MORETTO, D.L.; PANTA, R.E.; COSTA, A.B.; LOBO, E.A. 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. 2012.

PEIXOTO, K. L. G., NOGUCHI, H. S., PEREIRA, A. R., MARCHETTO, M., SANTOS, A. A. Avaliação das Características Quali-Quantitativas das Águas do Rio Beem. Município de Humaitá-Amazonas. **E&S - Engineering and Science**, v.2, ed. 1. 2014.

RAMACHANDRA, T. V.; BHARATH, A. H.; SOWMYASHREE, M. V. Monitoring urbanization and its implications in a mega city from space: Spatiotemporal patterns and its indicators. **Journal of environmental management**, v. 148, p. 67-81, 2015.

REN, Z., ZENG, Y., FU, X., ZHANG, G., CHEN, L., CHEN, J., WEI, Y. Modeling macrozooplankton and water quality relationships after wetland construction in the Wenyuhe River Basin, China. **Ecological Modelling**, 252, 97–105. 2013.



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.; VIERA, 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.

SIQUEIRA, E. B. **Identificação do Parâmetro Curva Número para uma Sub-bacia da Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul**. 2018. 86f. Tese (Doutorado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

SILVA, F.P. E LOURENÇO, E.S.O. (2016) Avaliação qualitativa e índice de qualidade das águas do Arroio Ouro Verde –Foz do Iguazu –PR. **Revista Cultivando o Saber**, 9(1), pp.51-69.

SILVA, G. S. D., JARDIM, W. D. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia-SP. **Química Nova**, 2006.

SILVEIRA, T.; REGO, N.A.C.; SANTOS, J.W.B.; ARAÚJO, M.S.B. Qualidade da Água e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Superficiais na Definição das Fragilidades Potencial e Ambiental de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 643-652. 2014.

SUN, W.; XIA, C.; XU, M.; GUO, J.; SUN, G. Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 306-312. 2016.

VALADÃO, L. S.; PEREIRA, R. DA S.; SILVA, M. D. DA; MONKS, J. L. F. Caracterização espacial e análise da qualidade da água da Bacia do Arroio Moreira/Fragata, Pelotas, RS. **THEMA**, v. 15, n. 1, p. 282 a 297, 2018.

VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M. G. (2019) 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.

WHEELAN, C. **Estatística: o que é, para que serve, como funciona**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2016.

ZHANG, H.; CULVER, D., A.; BOEGMAN, L., A. two-dimensional ecological model of Lake Erie: Application to estimate dreissenid impacts on large lake plankton populations. **Ecological Modelling**. n.2-4, v.214, p.219-241. 2008.

ZHAO, J., FU, G., LEI, K., LI, Y. Multivariate analysis of surface water quality in the Three Gorges area of China and implications for water management. **Journal of Environmental Sciences**, v.23(9), p.1460–1471, 2011.