

Utilização de estatística multivariada para análise de fatores físico-químicos do lodo de uma estação de tratamento de água do Rio Grande do Sul

Use of multivariate statistics to analyze physical-chemical factors in sludge from a water treatment plant in Rio Grande do Sul

Bruna Jann Leite¹ , **Nilo Eduardo Kehrwald Zimmermann¹** ,
Vera Lucia Duarte Ferreira¹ 

¹Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, Brasil

RESUMO

O grande avanço populacional nos centros urbanos, demandam uma crescente nos serviços essenciais para a vida humana, sendo um deles o saneamento básico. O presente artigo investiga as variações de qualidade de resíduos sólidos gerados em uma estação de tratamento de água (ETA) pertencente a Companhia Riograndense de Saneamento. Utilizando-se dados oriundos de análises diárias realizadas nos períodos compreendidos entre janeiro de 2015 e dezembro de 2019, foram aplicadas técnicas de estatística multivariada não paramétrica no intuito de determinar quais os principais fatores físico-químicos caracterizam a qualidade do lodo residual. As variáveis pesquisadas foram: turbidez, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, chumbo, ferro, manganês, alumínio e dureza. Os resultados evidenciaram a existência de altas correlações entre: ferro e pH, oxigênio e pH, demanda bioquímica de oxigênio e ferro e oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio. Também verificaram que o manganês não interfere consideravelmente no lodo gerado. A avaliação da qualidade do lodo oriundo do tratamento da água através de parâmetros físico-químicos pré-determinados possibilita inferir, por exemplo, como a quantidade do coagulante sulfato de alumínio aplicada para o tratamento pode influenciar substancialmente no nível de alumínio presente na água potável como também no lodo produzido.

Palavras-chave: Tratamento de água; lodo; Análise estatística multivariada

ABSTRACT

The large population advance in urban centers, demand an increase in essential services for human life, one of them being the basic sanitation. This paper investigates the variations in quality of solid waste generated in a water treatment plant (WTP) belonging to the Sanitation Company Riograndense

(CORSAN). Using data from daily analyses performed in the periods between January 2015 and December 2019, non-parametric multivariate statistical techniques were applied in order to determine which are the main physicochemical factors that characterize the quality of the residual sludge. The variables researched were: turbidity, pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, lead, iron, manganese, aluminum, and hardness. The results showed high correlations between: iron and pH, oxygen and pH, biochemical oxygen demand, and iron and dissolved oxygen and biochemical oxygen demand. They also verified that manganese does not interfere considerably in the sludge generated. The evaluation of the quality of the sludge from water treatment through predetermined physical-chemical parameters makes it possible to infer, for example, how the amount of aluminum sulfate coagulant applied for treatment can substantially influence the level of aluminum present in drinking water as well as in the sludge produced

Keywords: Water treatment; Sludge; Multivariate statistical analysis

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a água é considerada um dos principais componentes naturais no Brasil e no mundo. A diminuição da qualidade dos recursos hídricos, falta de conscientização do uso sem desperdício são alguns dos fatores interligados ao modelo de desenvolvimento instalado no mundo que acarretam na crescente demanda nos serviços essenciais para a vida humana, sendo um deles o tratamento de água.

Nos processos de tratamento são gerados lodos, decorrentes das impurezas presentes na água bruta e que ficam depositados em decantadores e filtros sendo descartados periodicamente na maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) diretamente no solo e nos corpos receptores (SANTOS, 2016). Assim, cada vez mais a legislação exige das empresas providências quanto ao tratamento do lodo visando o retorno do mesmo aos mananciais, sem causar danos, além de evitar o desperdício de recursos hídricos. Segundo a Lei 12.305 (BRASIL, 2010) tais lodos devem receber tratamento e disposição final ambientalmente adequados conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Segundo Reis *et. al.*(2007), o lançamento dos resíduos (lodo) sem tratamento poderiam elevar a demanda bioquímica de oxigênio, causar inibições das atividades biológicas, aumentar propriedades como cor e turbidez, aumentar a presença de corpos sólidos no corpo receptor (barragem, rio, poço, etc.), além de influenciar no declínio de espécies aquáticas.

De acordo com o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº430/2011 as fontes poluidoras de recursos hídricos devem executar práticas

visando o uso eficiente da água bem como redução e melhorias dos efluentes gerados (BRASIL, 2011).

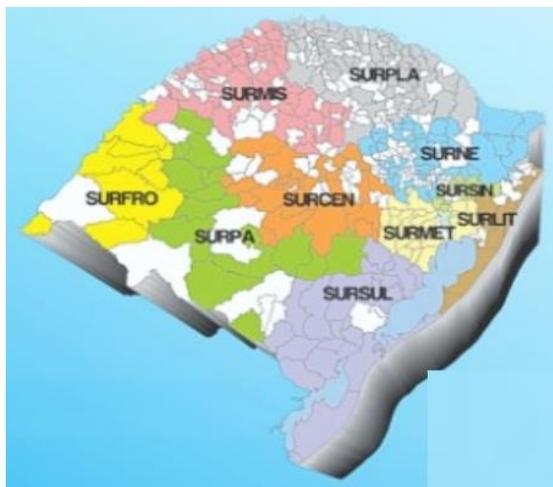
Nesse cenário, este trabalho visa analisar a inter-relação entre as variáveis físico-químicas do lodo produzido por uma ETA do Rio Grande do Sul via a técnica multivariada não paramétrica de Análise de Componentes Principais (cf. *Principal Component Analysis* -PCA) no intuito de explicá-las em termos de variabilidade. Esse tipo de análise é empregada como base para exploração multivariada de dados experimentais, facilitando a visualização da correlação entre variáveis, bem como identificar as variáveis responsáveis pelas maiores variações entre os resultados com a menor perda de informação possível (SANTOS, 2011; VICINI, 2005). Para avaliar o grau de dependência entre as variáveis foi medido o coeficiente de Correlação Pearson.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da coleta de dados

Os dados utilizados foram disponibilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), especificamente, a Superintendência Regional do Pampa (SURPA), área responsável administrativamente por dezesseis cidades, conforme mostra Figura 1.

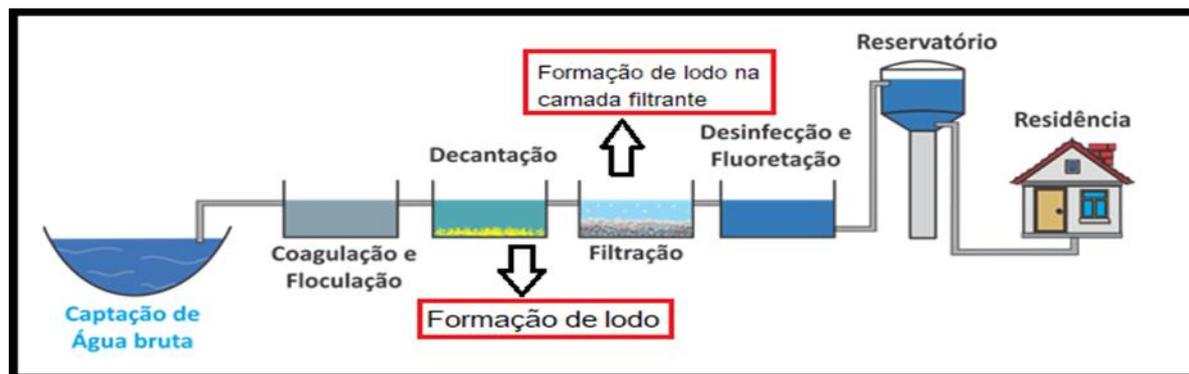
Figura 1 – Mapa das regionais da CORSAN



Fonte: CORSAN (2020)

Na Figura 2 é apresentado de modo esquemático o processo de tratamento da água, e a posterior geração do lodo. Vale salientar que, no momento em que o lodo está seco o mesmo é retirado, sendo levado para composteiras ou aterro sanitário da cidade.

Figura 2 – Processos de tratamento de água e geração de lodo



Fonte: Autora, adaptado de CORUPÁ (2019)

Neste trabalho, são utilizados dados pertinentes a uma estação de tratamento de água da regional SURPA. Basicamente, os dados utilizados foram as médias semestrais das análises físico-químicas referentes ao lodo no período de 2015 a 2019. Tais análises são realizadas pela CORSAN após a coleta em pontos específicos, entrada e saída do corpo receptor, respectivamente montante e jusante.

2.2 Análise Estatística Multivariada dos Dados

As análises estatísticas foram realizadas através da utilização do *software* R (R Core Team, 2020) com a extensão facilitadora do *Rstudio* (Rstudio Team, 2020). Num primeiro momento, foram realizadas as estatísticas descritivas, bem como o teste de normalidade *Shapiro-Wilk* (MIOT, 2017; GUIMARÃES, 2008). No segundo, foi realizado o PCA buscando inter-relacionar as variáveis e explicar suas dimensões inerentes. Para a realização das análises no *software* utilizou-se os

pacotes *vegan*, *ade4*, *corrplot* e *performance analytics*, todos eles disponíveis no próprio console para *downloads*. Ressalta-se que os dados foram padronizados devido às unidades de escalas e mensurações serem bastante diferentes (ALMEIDA, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos em cada etapa descrita na metodologia, baseando-se nos dados obtidos das análises do lodo desaguado da estação de tratamento de água. Na Tabela 1 são apresentados as estatísticas descritiva, bem como a resultante do teste de normalidade Shapiro –Wilk e também os parâmetros exigidos pela legislação vigente (BRASIL, 2005).

Tabela 1 – Estatísticas Descritiva e Teste de Normalidade Shapiro Wilk

Atributo	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Desvio Padrão	Normalidade (p-valor)¹	Padrão de Emissão
<i>Ph</i>	6,4	7,2	6,9	7,0	0,214	0,000349	6,0- 9,0
<i>Turbidez</i>	3,1	30,0	9,1	5,8	7,752	9,27x10 ⁻⁵	-
<i>Dureza</i>	36,0	100,0	58,4	53,5	17,709	0,0307	-
<i>Ferro</i>	0,1	1,0	0,5	0,4	0,314	0,0850	10 mg/l
<i>Manganês</i>	0,04	0,09	0,06	0,06	0,013	0,2576	1,0 mg/l
<i>O. D.</i>	4,9	7,0	6,2	6,3	0,560	0,0684	-
<i>D.B.O</i>	0,3	1,7	1,1	1,1	0,313	0,3529	-
<i>Alumínio</i>	0,0	11,0	1,2	0,3	2,840	6,432x10 ⁻⁸	10 mg/l
<i>Chumbo</i>	0,00	0,01	0,001	0,00	0,003	1,846x10 ⁻⁸	0,2 mg/l

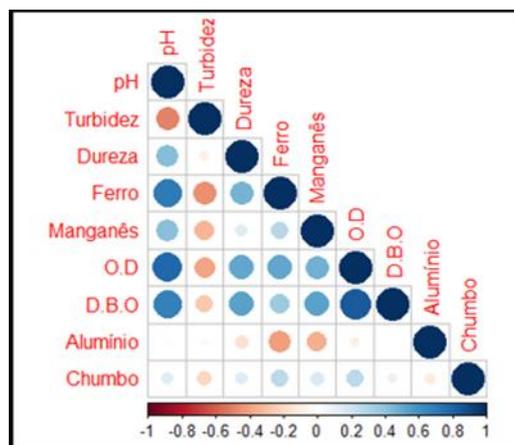
Fonte: Autora (2020)

¹ Considera-se p-valor com significância $p > 0,05$.

Observa-se na Tabela 1 que as variáveis turbidez e dureza apresentam desvio padrão alto. Também estima-se que a distribuição dos atributos pH, turbidez, dureza, alumínio e chumbo não é normal (p -valor $< 0,05$). Por sua vez, o ferro, o manganês, o oxigênio (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) sugerem apresentar distribuição normal (p – valor $> 0,05$).

No intuito de avaliar o grau de dependência quando confrontadas as variáveis duas a duas, foi medido o coeficiente de Correlação de Pearson (MONTGOMERY *et al*, 2003) obtendo os seguintes resultados (Figura 3):

Figura 3 – Matriz de Correlação



Fonte: Autora (2020)

A Figura 3 apresenta as correlações existentes entre as nove variáveis referentes a amostras de montante e jusante no corpo receptor da unidade de tratamento. Ao analisar graficamente a matriz, nota-se que as maiores correlações são: Ferro-pH, OD-pH, DBO-pH e OD-DBO.

Percebe-se assim, que o OD está correlacionado significativamente com a maioria dos fatores positivamente, ou seja, conforme aumentam os outros fatores, ocorre o aumento do mesmo. Também é possível observar que o alumínio e o chumbo estão muito pouco relacionados com os demais fatores, não interferindo consideravelmente nos resultados das demais análises.

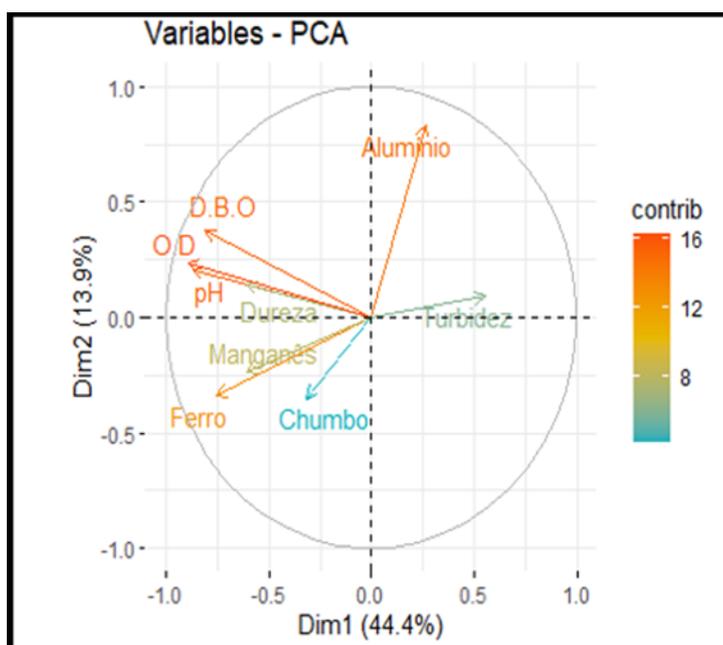
Tabela 2 – Descrição dos Componentes Principais

	Autovalores	Variância (%)	Variância Cumulativa (%)
Componente 1	3,99	44,44	44,44
Componente 2	1,25	13,91	58,36
Componente 3	1,03	11,55	69,91

Fonte: Autora (2020)

Pela análise da variância acumulada observa-se que os três primeiros componentes explicam cerca de 70% da variabilidade dos dados. Na Figura 4 os resultados mostram que o primeiro componente principal, CP1 têm grande associações com pH, OD e DBO, ou seja, este componente pode ser interpretado como sendo responsável pela variação de oxigênio do lodo relacionada a alterações de pH. O segundo componente, CP2 têm grande associação com o alumínio portanto, indica a variação do alumínio no lodo depositado em função do ponto de coleta, montante e jusante. O terceiro componente, CP3 está associado com a turbidez e a dureza, indicando que mudanças da dureza relacionam-se consideravelmente com com a variação de pH.

Figura 4 – Resultados dos componentes principais



Fonte: Autora (2020)

Analisando-se os escores gerados, foi possível observar algumas características sobre os locais de coleta. O alumínio, o OD e o DBO apresentam maiores alterações. Por exemplo, ao analisarmos o alumínio na PC2, verificou-se que duas amostras representadas por 10 e 11 apresentaram maiores escores. Salienta-se que a mostra 11 foi coletada na montante, o que pode explicar o alto índice do fator alumínio, visto que neste ponto resíduos de alumínio ficam depositados, havendo assim o acúmulo e por consequência, ocasionando maiores valores nas análises.

Em seguimento a tais observações, as variações de OD e de DBO ocorrem em consequência da matéria orgânica existente no momento da coleta e até mesmo pelas variações de temperatura. Cabe salientar que a DBO é responsável por determinar a quantidade de oxigênio consumida pela matéria orgânica num período de cinco dias, ou seja valores altos indicam aumento de cargas orgânicas, o que ocasionam uma diminuição de OD e vice-versa (SANTOS, 2011).

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo via análise estatística multivariada no intuito de obter informação sobre a qualidade dos resíduos sólidos gerados em uma estação de tratamento de água do Rio Grande do Sul. As análises mostraram que entre as nove variáveis físico-químicas investigadas as que apresentaram maior correlação foram: ferro-pH, oxigênio-pH, DBO-pH e OD-DBO.

A análise via componentes principais mostrou que 3 componentes são responsáveis por 70% da variabilidade dos dados, sendo que: CP1 é responsável pela variação de oxigênio do lodo estando relacionada a alterações de pH; CP2 está associada a variação do alumínio no lodo depositado oscilando entre montante e jusante. E a terceira componente, CP3, representando a variação da turbidez e dureza. Dessa forma, percebe-se ser o pH um fator de grande relevância para análise da qualidade do lodo. A avaliação da qualidade do lodo oriundo do

tratamento da água através de parâmetros físico-químicos pré-determinados possibilita inferir, por exemplo, como a quantidade do coagulante sulfato de alumínio aplicada para o tratamento pode influenciar substancialmente no nível de alumínio presente na água potável como também no lodo produzido.

Salienta-se que, a pesquisa continua em andamento com o intuito de melhor compreender os fatores responsáveis pelas variações da qualidade do lodo, bem como da produção do mesmo a fim de construir um modelo matemático capaz de auxiliar na diminuição de lodo produzido pelas estações de tratamento e otimização de processos. Os resultados parciais, elucidam previamente a compreensão e determinação dos indicadores favoráveis a serem utilizados na construção do modelo matemático.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia Riograndense de Saneamento pela disponibilização dos dados para o estudo do referido trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. **Análise de componentes principais aplicada a avaliação de atributos de agregados na separação sólido líquido**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro/SP. 2020.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Ministério do Meio Ambiente Brasília**, DF, p. 1-8.2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília**, DF, 16 mai. 2011.

BRASIL. Resolução CONSEMA nº 355 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília**, 2005.

CORSAN. **Companhia rio-grandense de saneamento**, c2020. Regionais, PAMPA. Disponível em: <<https://www.corsan.com.br/surpa>>. Acesso em: 03 de nov. de 2020.

CORUPÁ. **Processo de tratamento de água**. 2019. Online. Disponível em: <<http://aguasdecorupa.com.br/institucional/processo-de-tratamento-de-agua>>. Acesso em: 14 de agost. de 2019.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. 1ª ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008.

MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal vascular brasileiro**, v. 16, n. 2, p. 88-91, 2017.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**, 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

REIS, E. L. T., et.al. Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água. **Química Nova**, 30, 4, 865-872, 2007.

RSTUDIO TEAM. RStudio: **Integrated Development for R.. RStudio**, PBC, Boston, MA, 2020. Disponível em: < <http://www.rstudio.com/>>.

R CORE TEAM: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: < <https://www.R-project.R/>>.

SANTOS, S. S. **A. Caracterização e utilização de resíduo sólido: lodo de eta, como matéria prima para confecção de elementos da construção civil**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA. 2011.

SANTOS, F. P. **Caracterização e estudo da incorporação do lodo de ETA em argamassa**. 2016. 60 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul/ RS. 2016.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

1 – Bruna Jann Leite

Especialista em Modelagem Computacional em Ensino, Experimentação e Simulação
<https://orcid.org/0000-0002-6538-4864> - brunajannleite@gmail.com

Contribuição: Curadoria dos dados, investigação, análise formal, escrita- primeira redação, revisão e edição

2 – Nilo Eduardo Kehrwald Zimmermann

Doutor em Química Orgânica

<https://orcid.org/0000-0002-7807-9308> - nilozimmermann@unipampa.edu.br

Contribuição: Conceituação, análise formal, escrita-revisão e edição.

3 – Vera Lucia Duarte Ferreira

Doutora em Modelagem Computacional

<https://orcid.org/0000-0002-6968-5664> - veraferreira@unipampa.edu.br

Contribuição: Conceituação, curadoria dos dados, análise formal, escrita-revisão e edição.

Como citar este artigo

LEITE, B.J.; ZIMMERMANN, N.E.K.; FERREIRA, V.L.D. Utilização de estatística multivariada para análise de fatores físico-químicos do lodo de uma estação de tratamento de água do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, Ed. Esp. X ERMAC RS, e7, p. 1-11, 2021. DOI 10.5902/2179460X66990. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X66990>. Acesso em: 5 nov. 2021.