

PADRÕES DE ASSOCIAÇÃO ENTRE INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE NASCENTES DO RIO GRANDE DO SUL

Débora Seben (*), Fernanda Volpato, Marcos Toebe, Willian Fernando de Borba, Jaqueline Ineu Golombieski

* Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: debyseben@hotmail.com

RESUMO

A preocupação com a qualidade da água consumida pelas comunidades rurais gera cautela quanto a interferências das variáveis de qualidade da água na potabilidade. O presente estudo teve por objetivo verificar a associação linear existente entre as variáveis físicas, químicas e microbiológicas de águas oriundas de nascentes. A pesquisa foi desenvolvida a partir de duas coletas (maio e novembro/2019) e as relações lineares entre as variáveis de qualidade da água foram analisadas através da correlação linear de Pearson, correlações e coeficientes canônicos. As variáveis alcalinidade total, dureza total e condutividade elétrica possuem forte correlação positiva entre elas, semelhante ao que ocorre com as variáveis turbidez, cor aparente, cor verdadeira e ferro total, entre nitrito e ferro total, e entre turbidez e coliformes totais. Essas correlações ocorrem em função da interação que a água tem com o solo e com os compostos ali presentes, alterando assim a qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Colinearidade, Correlação, Qualidade da água. Variáveis.

INTRODUÇÃO

Em virtude da dificuldade de acesso e, conseqüentemente, da baixa poluição (GATES et al., 2011), as águas subterrâneas representam uma fonte indispensável para o desenvolvimento econômico e sobrevivência humana, sendo usadas para o desenvolvimento de diferentes atividades (BRHANE, 2018) como na agricultura, indústria e no uso doméstico (SAITO et al., 2020).

As águas subterrâneas possuem boa estabilidade, distribuição e regulação natural (GATES et al., 2011), especialmente em períodos de secas. No entanto, as águas subterrâneas estão vulneráveis à poluição em função da variação temporal e espacial (MASOCHA et al., 2019), já que interagem com o solo, as rochas e com os compostos orgânicos presentes no meio, em função das atividades humanas (BRHANE, 2018). A poluição tem relação com a presença de patógenos, os quais podem atravessar o solo e causar a contaminação destas fontes de água (MYERS, 2009).

Assim, a qualidade das águas depende dos usos dos solos (GAO et al., 2021), dos processos de degradação de cada bacia hidrográfica e das atividades antrópicas desenvolvidas próximas as fontes (SUDHAKARAN et al., 2020).

OBJETIVO

Dessa forma, essa pesquisa teve por objetivo determinar a correlação existente entre variáveis físicas, químicas e microbiológicas, de qualidade das águas subterrâneas (em especial nascentes).

METODOLOGIA

Foram analisadas vinte nascentes de águas, as quais estão localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As amostras foram coletadas em duas estações diferentes (maio: outono – coleta 1; e novembro: primavera – coleta 2; 2019). Os frascos utilizados para as coletas de água das nascentes foram de polietileno (com capacidade de 500 mL, totalizando 2 L), exceto as amostras utilizadas para análise microbiológica, as quais foram realizadas em frascos de vidros (capacidade de 250 mL) devidamente autoclavados.

As análises das variáveis físicas, químicas e microbiológicas das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* Frederico Westphalen e seguiram os métodos descritos em Apha, Awwa e Wef (2012).

Análises de temperatura e pH (pHmetro portátil PHEP®4 Hanna) foram realizadas “*in loco*”. No laboratório, os métodos de análise foram: Turbidez (NTU), Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Alcalinidade Total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$), Dureza Total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$), Amônia Total ($\text{mg}/\text{L N-NH}_3$), Nitrato ($\text{mg}/\text{L N-NO}_3^-$), Cor Aparente e Cor Verdadeira (HU), Nitrito ($\text{mg}/\text{L N-NO}_2^-$), Fósforo Total (P) ($\text{mg}/\text{L P}$), Flúor (F⁻) ($\text{mg}/\text{L F}^-$) e Ferro Total (Fe) ($\text{mg}/\text{L Fe}$), Coliformes Totais e *Escherichia coli* (NMP-número mais provável/100 mL).

Foram estimados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre as dezesseis variáveis avaliadas, considerando os 40 pontos amostrais (vinte nascentes em dois períodos de coletas). Para a análise de correlação canônica, as variáveis foram divididas em quatro grupos: 1) variáveis físicas: pH, alcalinidade total, dureza total e condutividade elétrica; 2) variáveis químicas: temperatura, turbidez, cor aparente e cor verdadeira; 3) compostos químicos específicos: ferro total, fósforo total, fluoreto, amônia total, nitrato e nitrito; e 4) variáveis microbiológicas: coliformes totais e *E. coli*. Foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade dentro de cada grupo de variáveis, por meio do número de condição (NC), o qual não indicou problema sério de colinearidade. Dessa forma, nenhuma variável foi excluída e prosseguiu-se a

análise de correlação canônica para verificar as associações existentes entre os grupos de variáveis. As correlações canônicas entre os grupos de variáveis foram apresentadas por meio dos coeficientes dos pares canônicos e dos coeficientes canônicos. A significância das correlações canônicas foi testada por meio do teste qui-quadrado (χ^2) ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS

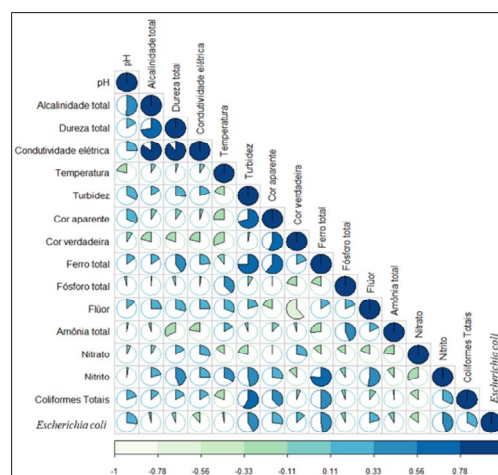
A variável pH apresentou correlação positiva (Figura 1) de maior magnitude com a alcalinidade total (AT) ($r=0,51$, dados não apresentados). Em geral, esta variável apresentou correlações negligenciáveis a fracas com as demais variáveis em estudo.

A AT possui alta correlação positiva (Figura 1) com a condutividade elétrica (CE) e com a dureza total (DT) ($r=0,85$ e $r=0,72$, respectivamente, dados não apresentados), e conforme descrito anteriormente, correlação moderada com o pH. A relação dessa variável com as demais variáveis não mencionadas também é fraca. A DT teve correlação positiva de alta magnitude (Figura 1) ($r=0,89$, dados não apresentados) com a CE e com AT, conforme apresentado anteriormente. A temperatura teve correlações negligenciáveis ou de baixa magnitude com todas as demais variáveis.

A variável turbidez apresentou maior correlação positiva com as variáveis ferro total (FT), cor aparente (CA) e coliformes totais (CT) (Figura 1) ($r=0,74$, $r=0,71$ e $r=0,59$, respectivamente, dados não apresentados) e correlações positivas de menor magnitude com Nitrito (N-NO_2^-) e *E. coli*. A variável CA apresentou correlação positiva de maior magnitude com turbidez ($r=0,74$, dados não apresentados), com o FT e a cor verdadeira (CV) (Figura 1) ($r=0,61$ e $r=0,56$, respectivamente, dados não apresentados). Correlação de menor magnitude também foi verificada da CA com CT.

A CV apresentou correlação negativa de maior magnitude com o fluoreto (F^-) ($r=-0,62$, dados não apresentados) e positiva de maior magnitude com a CA ($r=0,56$, dados não apresentados) (Figura 1). O FT apresentou alta correlação positiva com o N-NO_2^- , turbidez e CT ($r=0,76$, $r=0,74$ e $r=0,50$, respectivamente, dados não apresentados) e menores escores de correlação positiva com CT e *E. coli*. O fósforo total (P) apresentou correlações negligenciáveis ou de baixa magnitude com as demais variáveis, sendo que apenas com amônia total (AM) e temperatura as correlações foram moderadas. O F^- apresentou (Figura 1) correlação positiva de maior magnitude com N-NO_2^- ($r=0,53$, dados não apresentados) e a negativa de maior magnitude foi com CV, conforme destacado anteriormente. A AM apresentou correlações de baixa magnitude com todas as demais variáveis, sendo que a correlação de maior escore dessa variável foi com P. O Nitrato (NO_3^-) apresentou correlações negligenciáveis com todas as demais variáveis em estudo. Já o N-NO_2^- apresentou alta correlação positiva com FT e correlação positiva moderada com turbidez, DT, F^- e *E. coli*. Os CT tiveram correlação moderada positiva com turbidez, FT e CA. A *E. coli* apresentou correlações positivas moderadas com FT, turbidez e N-NO_2^- , conforme já indicado anteriormente.

Figura 1. Correlações entre variáveis químicas, físicas, compostos químicos específicos e microbiológicas de nascentes de água do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Dados da pesquisa (2021).



Analisando os pares canônicos, verificou-se que nenhum foi significativo entre as variáveis químicas e físicas (Tabela 1), indicando menor relação entre esses grupos. Avaliando os coeficientes dos pares canônicos entre o grupo das variáveis químicas *versus* compostos químicos específicos (Tabela 1), verificou-se que apenas o primeiro par canônico foi significativo. Neste par, observa-se que o FT e o N-NO_3^- possuem associação linear forte positiva com a CE e negativa com a AT, enquanto que a AM possui correlação forte positiva com a AT e negativa com a CE.

Quando foram comparados os pares canônicos entre o grupo das variáveis físicas *versus* compostos químicos específicos (Tabela 1), foi observado que, no primeiro par canônico o FT possui associação linear forte positiva com a turbidez, conforme verificado também na Figura 1 pela correlação de Pearson. No segundo par canônico observou-se que o P, o F^- e o N-NO_2^- possuem associação linear forte positiva com a temperatura e turbidez e negativa com a CV.

Já, no terceiro par canônico, observa-se que a temperatura possui associação linear forte negativa com o F^- e positiva com o $N-NO_2^-$, o qual se manteve ao longo dos três pares canônicos e sua correlação também foi comprovada na Figura 1.

A correlação canônica entre variáveis microbiológicas e químicas resultou em nenhum par canônico significativo (Tabela 1), indicando apenas uma possível correlação positiva entre temperatura e *E. coli*. Em análise dos pares canônicos entre as variáveis microbiológicas *versus* físicas, observa-se que os CT possuem associação linear forte positiva com a turbidez, também observado na correlação de Pearson (Figura 1), e negativa com a CA. A correlação canônica entre variáveis microbiológicas e químicas específicas também resultou em nenhum par canônico significativo (Tabela 1), indicando apenas uma possível correlação positiva de CT e *E. coli* com FT e $N-NO_2^-$, em concordância com as correlações lineares de Pearson (Figura 1).

Tabela 1. Correlação e estimativa dos coeficientes dos pares canônicos entre variáveis químicas, físicas, compostos químicos específicos e microbiológicas de nascentes de água do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Variáveis	Coeficientes dos pares canônicos				Variáveis	Coeficientes dos pares canônicos	
	1°	2°	3°	4°		1°	2°
					Químicas		
pH	1,18	-0,16	0,3	-0,36	pH	1,07	0,46
Alcalinidade Total	-1,48	1,32	1,23	0,49	Alcalinidade Total	-0,45	-0,9
Dureza Total	0,81	0,63	-0,02	1,96	Dureza Total	0,88	0,14
Condutividade Elétrica	0,39	-0,88	-1,64	-2,38	Condutividade Elétrica	-0,93	1,44
					Microbiológicas		
Temperatura	-0,37	0,06	-0,43	0,91	Coliformes Totais	0,08	1,05
Turbidez	1,03	-0,63	-1,42	0,21	<i>Escherichia coli</i>	0,97	-0,41
Cor Aparente	-0,34	1,49	1,63	0,24			
Cor Verdadeira	0,38	-1,43	-0,45	0,58			
r ⁽¹⁾	0,52 ^{ns(4)}	0,36 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	r	0,37 ^{ns}	0,24 ^{ns}
χ^2 ⁽²⁾	17,41	6,69	2,03	0	χ^2	7,18	2,02
GL ⁽³⁾	16	9	4	1	GL	8	3
					Químicos		
pH	0,52	-0,52	0,98	-0,36	Coliformes Totais	0,84	0,54
Alcalinidade Total	-1,44	1,21	0,15	1,46	<i>Escherichia coli</i>	0,78	-0,63
Dureza Total	0,73	1,93	0,57	-0,55			
Condutividade Elétrica	1,14	-2,64	-1	0,05			
					Compostos Químicos Específicos		
Ferro Total	0,56	-0,64	1,4	-0,46	Ferro Total	0,96	-0,08
Fósforo Total	0,26	-0,1	-0,46	-0,01	Fósforo Total	-0,12	0,06
Flúor	0,34	-0,38	0,79	0,71	Flúor	0,29	-0,52
Amônia Total	-0,5	-0,19	0,29	0,4	Amônia Total	-0,09	0,35
Nitrato	0,55	-0,44	-0,53	0,3	Nitrato	-0,28	0,09
Nitrito	-0,01	1,31	-1,47	0,36	Nitrito	0,74	-0,63
r	0,71*	0,55 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,20 ^{ns}	r	0,62 ^{ns}	0,19 ^{ns}
χ^2	39,63	16,57	4,33	1,32	χ^2	18,33	1,28
GL	24	15	8	3	GL	12	5
					Físicas		
Temperatura	-0,21	-0,56	0,87	0,2	Temperatura	0,02	-0,79
Turbidez	0,81	-0,54	-0,09	1,61	Turbidez	1,38	-0,82
Cor Aparente	0,11	0,07	0,29	-2,23	Cor Aparente	-0,61	1,3
Cor Verdadeira	0,2	0,55	0,65	1,4	Cor Verdadeira	0,48	-1,35
					Microbiológicas		
Ferro Total	1,55	0,18	-0,69	-0,32	Coliformes Totais	0,74	0,75
Fósforo Total	0,05	-0,45	0,41	0,18	<i>Escherichia coli</i>	0,47	-0,94
Flúor	0,11	-0,54	-1,13	-0,27			
Amônia Total	0,14	0,24	0,36	-1,03			
Nitrato	-0,11	0,24	0,49	-0,05			
Nitrito	-0,87	-0,45	1,68	0,45			
r	0,84*	0,76*	0,72*	0,35 ^{ns}	r	0,66*	0,21 ^{ns}
χ^2	98,02	57,54	29,1	4,48	χ^2	22,25	1,62
GL	24	15	8	3	GL	8	3

(1) r = Correlação Canônica. (2) χ^2 = Teste do qui-quadrado. (3) GL = Graus de Liberdade. (4) * Diferença significativa pelo teste qui-quadrado ($p \leq 0.05$). ns = não-significativo.

DISCUSSÃO

A correlação existente entre pH e AT e entre AT e DT também foi observada nos trabalhos realizados por Sudhakaran et al. (2020). A AT representa a quantidade, em mg/L, de CaCO_3 , neste sentido, quanto maiores os valores desta variável nas águas subterrâneas, menor será a acidez da água (HASAN et al., 2020).

Os valores de DT indicam a presença de CaCO_3 e representam a característica geológicas do local, onde os valores são menores em terrenos arenosos e argilosos e elevados em regiões calcárias.

A variável CE tem relação com a salinidade e indica a capacidade que a água tem em transmitir corrente elétrica devido a presença de substâncias dissolvidas. Neste sentido, quanto maiores os valores de AT e DT, maior será o valor de CE, já que a presença de CaCO_3 aumenta a possibilidade de a água transmitir corrente elétrica (TIJING et al., 2011), e essa correlação também foi encontrada nos trabalhos desenvolvidos por Adebayo et al. (2021), Hasan et al. (2020) e Sudhakaran et al. (2020).

A correlação positiva entre turbidez, cor e FT também foi constatada nos trabalhos desenvolvidos por Howladar et al. (2021), em função da coloração que varia em tons avermelhados a pretos na água, quando o Fe é precipitado.

Valores elevados de F^- são resultado da interação entre a água e as rochas e foram constatados nos trabalhos realizados por Missi e Atekwana (2020). Os valores elevados de flúor são resultados da interação natural entre rocha e água, enquanto que os valores de N-NO_3^- e N-NO_2^- são resultados da interação entre a água e interferências antrópicas que ocorreram no meio (MISSI; ATEKWANA, 2020), sendo que quantidades excessivas de N-NO_3^- no solo podem causar, entre outros fatores, redução da produção agrícola. E essa correlação existente entre N-NO_3^- e F^- também foi constatada no trabalho realizado por Adebayo et al., 2021.

Já elevada correlação entre N-NO_2^- e FT também foi constatada em trabalho desenvolvido por Lu et al. (2020) e correlação positiva moderada forte entre CT e *E. coli* com N-NO_2^- foi constatada em trabalho desenvolvido por Ogwueleka e Christopher (2020).

CONCLUSÃO

As variáveis alcalinidade total, dureza total e condutividade elétrica possuem forte correlação positiva entre elas, semelhante ao que ocorre com as variáveis turbidez, cor aparente, cor verdadeira e ferro total, entre nitrito e ferro total e, entre turbidez e coliformes totais. Essas correlações ocorrem em função da interação que a água tem com o solo e com os compostos ali presentes, alterando assim sua qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA & WEF. (2012). **Standard Methods for the Examination of water and wastewater**. 22 nd edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. Edited by: Eugene W. Rice Rodger B. Baird, Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri.
2. Adebayo, T.B., Abegunrin, T.P., Awe, G.O., Are, K.S., Guo, H., Onofua, O.E., Adegbola, G.A., Ojediran, J.O. **Geospatial mapping and suitability classification of groundwater quality for agriculture and domestic uses in a Precambrian basement complex**. Groundwater for Sustainable Development, 12, 100497. 2021.
3. Brhane, G.K. (2018). **Characterization of hydro chemistry and groundwater quality evaluation for drinking purpose in Adigrat area, Tigray, northern Ethiopia**. Water Science, 32(2), 213-229. 2018.
4. Howladar, M.F., Chakma, E., Koley, N.J., Islam, S., Numanbakthan, M.A.A., Ahmed, Z., Chowdhury, T.R., Akter, S. **The water quality and pollution sources assessment of Surma river, Bangladesh using, hydrochemical, multivariate statistical and water quality index methods**. Groundwater for Sustainable Development, 12, 100523. 2021.
5. Gao, J., Li, Z., Chen, Z., Zhou, Y., Liu, W., Wang, L., Zhou, J. **Deterioration of groundwater quality along an increasing intensive land use pattern in a small catchment**. Agricultural Water Management, 253, 106953. 2021
6. Gates, J.B., Scanlon, B.R., Mu, X., Zhang, L. **Impacts of soil conservation on groundwater recharge in the semi-arid Loess Plateau, China**. Hydrogeology Journal, 19, 865. 2011.
7. Hasan, M.M., Ahmed, M.S., Adnan, R., Shafiquzzaman, M. **Water quality indices to assess the spatiotemporal variations of Dhaleshwari river in central Bangladesh**. Environmental and Sustainability Indicators, 8, 100068. 2020.
8. Lu, Y., Huang, X., Xu, L., Chen, X., Zhou, J. Qian, G., Fang, F. **Elucidation of the nitrogen-transformation mechanism for nitrite removal using a microbial-mediated iron redox cycling system**. Journal of Water Process Engineering, 33, 101016. 2020.
9. Masocha, M., Dube, T., Dube, T. **Integrating microbiological and physico-chemical parameters for enhanced spatial prediction of groundwater quality in Harare**. Physics and Chemistry of the Earth, 112, 125-133. 2019.
10. Missi, C., Atekwana, E.A. **Physical, chemical and isotopic characteristics of groundwater and surface water in the Lake Chilwa Basin, Malawi**. Journal of African Earth Sciences, 162, 103737. 2020.



11. Myers, T. **Groundwater management and coal bed methane development in the Powder River Basin of Montana.** Journal of Hydrology, 368(1–4), 178–193. 2009
12. Ogwueleka, T.C., Christopher, I.E. **Hydrochemical interfaces and spatial assessment of Usuma River water quality in North-Central Nigeria.** Scientific African, 8, e00371. 2020.
13. Saito, T., Spadini, L., Saito, H., Martins, J.M.F., Oxarango, L., Takemura, T., Hamamoto, S., Moldrup, P., Kawamoto, K., Komatsu, T. **Characterization and comparison of groundwater quality and redox conditions in the Arakawa Lowland and Musashino Upland, southern Kanto Plain of the Tokyo Metropolitan area, Japan.** Science of The Total Environment, 722(20), 137783. 2020
14. Sudhakaran, S., Mahadevan, H., Arun, V., Krishnakumar, A.P., Krishnan, K.A. **A multivariate statistical approach in assessing the quality of potable and irrigation water environs of the Netravati River basin (India).** Groundwater for Sustainable Development, 11, 100462. 2020.
15. Tijing, L.D., Lee, D.H., Kim, D.W., Cho, Y.I., Kim, C.S. **Effect of high-frequency electric fields on calcium carbonate scaling.** Desalination, 279(1-3), 47–53. 2011.