

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CAXIAS DO SUL COM BASE EM ANÁLISES ESTATÍSTICAS

JANICE BILHALVA DE BILHALVA¹; DANIEL GUNNAR FLORES SANHUDO², RUBIA FLORES ROMANI³, PAULA JOSYANE DOS SANTOS FRANCISCO⁴, JULIANA PERTILLE DA SILVA⁵.

¹Universidade Federal de Pelotas – evandro_gesso@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – danielgfsan@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – prof.rubia.romani@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – paula.josyane.eng@gmail.com

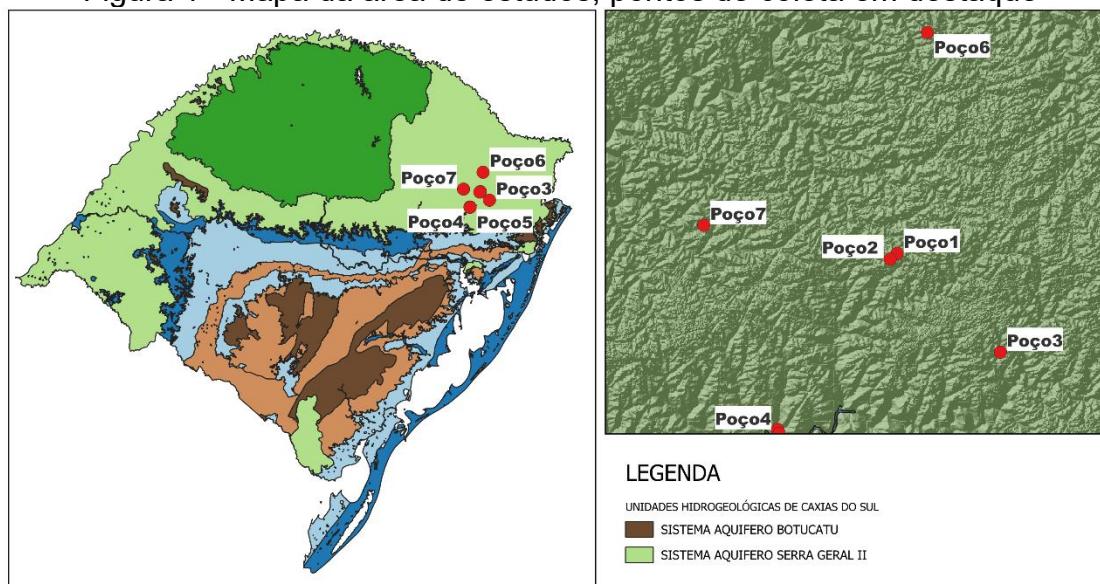
⁵Universidade Federal de Pelotas – juliana.pertill@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para o consumo humano, atividades agrícolas, industriais e manutenção dos ecossistemas. Temos as águas subterrâneas como uma das principais fontes de abastecimento de água doce no mundo. Embora estejam naturalmente protegidas por camadas de solo e rocha, as águas subterrâneas estão suscetíveis à contaminação. Práticas como o uso indiscriminado de agrotóxicos, o descarte inadequado de resíduos e a ausência de saneamento básico são apenas alguns dos fatores que podem comprometer sua qualidade.

O município de Caxias do Sul, encontra-se no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas longitude 51°18'00" W – 50°42'00" W e latitude 29°20'00" S – 28°48'00" S, sendo a maior cidade da região da Serra Gaúcha. No município são predominantes os afloramentos de derrames do tipo ácido da Formação Serra Geral, sendo, também, observadas exposições de derrames básicos e a Formação Botucatu (VARGAS et al., 2013), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Mapa da área de estudos, pontos de coleta em destaque



Fonte: Adaptado de Machado (2005).

Apesar da importância da região, estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas ainda são restritos. Desta forma, o presente estudo visa avaliar a adequabilidade para consumo das águas subterrâneas no município de Caxias do Sul, para quatro campanhas de amostragem realizadas em diferentes períodos.

O monitoramento das águas subterrâneas configura-se como uma ação estratégica e preventiva, essencial para a detecção precoce de contaminantes e para a avaliação de riscos à saúde pública. Ainda que o número de parâmetros analisados seja limitado, os resultados obtidos demonstram que é possível realizar um monitoramento eficaz e capaz de fornecer informações relevantes sobre a qualidade da água.

2. METODOLOGIA

Neste estudo foram observados resultados de amostras de 4 parâmetros de qualidade de águas subterrâneas, sendo eles - Cloreto, Sólidos Totais Dissolvidos (SDT), Sódio e Sulfato - de 28 amostras coletadas pelo Laboratório Bioagri Ambiental Ltda. e Laboratório HidroLab em 4 campanhas realizadas em 7 pontos de coleta, localizados no município de Caxias do Sul (Tabela 1).

Tabela 1 - Informações sobre local e datas das amostras coletadas

Pontos	Coordenadas UTM	Datas das campanhas
Poço1	498345(W/E) 6778993 (N/S)	Campanha 01 – C1: out/2019
Poço2	497500(W/E) 6778300 (N/S)	Campanha 02 - C2: mai/2020
Poço3	510855(W/E) 6767081 (N/S)	Campanha 03 - C3: out/2020
Poço4	483890(W/E) 6757783 (N/S)	Campanha 04 - C4: abr/2021
Poço5	484086(W/E) 6757313 (N/S)	
Poço6	502020(W/E) 6805670 (N/S)	
Poço7	474912(W/E) 6782356 (N/S)	

A análise estatística dos dados de qualidade da água subterrânea envolveu a aplicação de estatística descritiva e o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados (FÁVERO; BELFIORE, 2017). A escolha entre ANOVA paramétrica ou o teste de Kruskal-Wallis foi definida a partir deste resultado, sendo que, neste estudo, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis para avaliar se a distribuição dos dados de qualidade diferiu estatisticamente entre as campanhas (FÁVERO; BELFIORE, 2017). As análises aqui descritas foram realizadas com o software RCommander.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos foi conduzida por meio de estatística descritiva e dos testes de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados e de Kruskal-Wallis para avaliar diferenças entre grupos. Resultados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – resultados dos Testes de Shapiro-Wilk e Kruskal-Wallis

Parâmetros	Estatística Descritiva			Teste de Shapiro Wilk		Teste de Kruskal-Wallis		
	Mínimo	Máximo	Média	W	p-value	Qui-quadrado	df	p-value
Cloreto	0.000	22.22	5.38	0.68509	0.000001766	1.5025	3	0.6817
SDT	91.00	244.00	150.93	0.96081	0.3643	5.8332	3	0.12
Sodio	3.175	34.20	11.56	0.8584	0.001388	2.3092	3	0.5108
Sulfato	0.000	7.434	2.56	0.90453	0.01463	0.15851	3	0.984

Os resultados da análise estatística descritiva revelaram variações importantes entre as amostras, evidenciada pelos valores mínimos e máximos e a presença de valores nulos que indicam ausência em algumas amostras. O teste de

Shapiro-Wilk apontou que apenas o parâmetro SDT apresentou distribuição normal enquanto os demais rejeitaram a hipótese de normalidade. Os resultados obtidos através do teste de Kruskal-Wallis mostraram que não há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de poços analisados quanto às concentrações de Cloreto, SDT, Sódio e Sulfato, ou seja, aceitam hipótese nula no teste de Kruskal-Wallis. Os dados obtidos indicam uma homogeneidade hidroquímica entre os poços analisados, possivelmente relacionada à uniformidade geológica e ao uso do solo na área de estudo.

Os parâmetros físico-químicos analisados estão em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008.

Concentrações altas de cloretos podem restringir o uso da água em razão do sabor que eles conferem e pelo efeito laxativo que eles podem provocar. Geralmente o nível de cloretos dissolvidos na água, está associado aos níveis de despejo de esgotos domésticos conforme proposto por Jardim e Guarda (2017). Os sólidos totais dissolvidos estão diretamente relacionados com o tempo de residência da água no sistema aquífero (BITTENCOURT et al., 2003). O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, sendo o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Ocorre, principalmente, sob a forma de cloretos. Concentrações de sódio em corpos d'água variam consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local e das descargas de efluentes (SANTOS, 2011). Os sulfatos podem ser dissolvidos dos minerais gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anidrita (CaSO_4), barita (BaSO_4), entre outros. Altas concentrações de sulfato em águas naturais são mais comuns associadas à presença desses minerais (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

4. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram identificar padrões importantes na composição hidroquímica das amostras coletadas. A estatística descritiva evidenciou variações relevantes entre os parâmetros analisados, com destaque para o SDT e o cloreto, que apresentaram os maiores intervalos de variação. O teste de Shapiro-Wilk revelou que apenas o parâmetro SDT apresentou distribuição normal, justificando a aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Os resultados de Kruskal-Wallis indicam que os parâmetros físico-químicos analisados: cloreto, SDT, sódio e sulfato, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os poços ao longo das quatro campanhas de amostragem. A aceitação da hipótese nula no teste de Kruskal-Wallis para todos os parâmetros sugere uma relativa homogeneidade hidroquímica entre os pontos de coleta, possivelmente associada à uniformidade geológica da região e ao uso do solo no município de Caxias do Sul. No período analisado, observou-se qualidade uniforme entre os poços. Reforçando a importância do monitoramento contínuo para a gestão e segurança hídrica.

Conclui-se, portanto, a aplicação de métodos estatísticos em dados de monitoramento de águas subterrâneas permitindo transformar grandes volumes de dados em informações úteis e confiáveis, essencial para detectar padrões de variação

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTENCOURT, A. V. L. et al. **A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do rio Piriqui, Paraná – BR.** Águas Subterrâneas, v. 17, p. 67-75, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº396**, de 03/04/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®.** 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2017.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

JARDIM, P. B.; GUARDA, V. L. M. **Mata ciliar e qualidade de água em nascentes do município de Ouro Branco, Minas Gerais.** Além dos Muros da Universidade: Revista da Cátedra AMDE, v. 2, n. 2, 2017.

PARRON, M. P.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos, 232). ISSN 1980-3958.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia.** 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Águas subterrâneas.** SIAGAS, 2025. Disponível em: https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acesso em: 20 jul. 2025.

VARGAS, T. et al. **Monitoramento hidroquímico dos córregos afluentes à Represa Faxinal, Caxias do Sul – RS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. *Anais...* Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1-8.