

IV- 061 - MODELO SIMPLIFICADO PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO HÍDRICO CASTANHÃO/CE

Marianna Correia Aragão Goes⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Doutora em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Pós-doutoranda em Engenharia Civil – Recursos Hídricos na UFC.

Iran Eduardo Lima Neto⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos pela Universidade de Alberta, Canadá. Pós-doutor em Mecânica dos Fluidos Ambiental pela Universidade de Cambridge, Inglaterra. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da UFC.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará - Campus Do Pici - Bloco 713 - 1o Andar - CEP: 60451-970 - Fortaleza, Brazil - Tel: +55 (85) 3366-9623

e-mail: marianna8903@yahoo.com.br

RESUMO

Os reservatórios de água são extremamente importantes para a região semiárida brasileira pois são a principal fonte hídrica para múltiplas finalidades. Um exemplo deles é o Açude Castanhão, que apesar de seu grande porte e de ser considerado a principal reserva hídrica para o Estado do Ceará, tem apresentado um processo de degradação progressiva da qualidade de suas águas. Além disso, a alta variação sazonal e interanual do nível de água dos reservatórios da região semiárida impacta potencialmente a dinâmica de concentração de fósforo total do reservatório, uma das principais causas de eutrofização, bem como seus padrões de estratificação e oxigenação. Diante disso, faz-se necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos para determinar a concentração de fósforo total para a avaliação da qualidade de água dos reservatórios de abastecimento hídrico. Nesse contexto, o presente trabalho mostra o desenvolvimento de um modelo matemático simplificado para estimar a concentração de Fósforo Total (P) no reservatório Castanhão/CE a partir de dados de variáveis hidroclimáticas e de qualidade da água obtidos a partir de amostragens mensais realizadas entre 2013 e 2021. O modelo matemático obtido foi capaz de prever a concentração de P no Reservatório Castanhão usando apenas o volume como variável explicativa. Embora o modelo obtido tenha um valor de R^2 Ajustado inferior aos outros modelos selecionados ($R^2 = 0,408$), apresentou boa precisão e foi considerado uma solução mais prática.

PALAVRAS-CHAVE: Fósforo total, Reservatório, Castanhão, Qualidade da água

INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é marcado pela escassez hídrica e a fim de minimizar os impactos das secas, os reservatórios (ou “açudes”) são de extrema relevância nessa região (Albuquerque et al., 2020; Delmiro Rocha & Lima Neto, 2022; Lima Neto et al., 2022), pois representam a principal fonte de água para múltiplas finalidades, como irrigação, recreação, pesca e pecuária, durante todo o ano (Lima Neto et al., 2011; Lopes et al., 2014). Entretanto, o uso múltiplo da água, feito de forma desordenada, afeta a qualidade da água disponível, provocando alterações da biodiversidade, da pesca comercial e esportiva (Esteves, 2011; Rocha & Lima Neto, 2021).

Um exemplo de reservatório nordestino, considerado o maior da América Latina para múltiplos usos é o açude Castanhão, localizado no Estado do Ceará, cuja capacidade é de 6,7 bilhões de m³. Apesar do grande porte, o referido açude tem apresentado um processo de degradação progressiva da qualidade de suas águas e isso traz consequências significativas para o abastecimento humano, industrial e agropecuário (Molisani et al., 2013).

Como uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, a avaliação da qualidade da água desses reservatórios deve incluir o monitoramento dos parâmetros, através de sondas multiparamétricas, resultando em uma série de dados históricos que, posteriormente, podem ser analisados a fim de

permitir a identificação dos fatores antrópicos e naturais que interferem na qualidade da água (Guedes et al., 2012; Lopes et al., 2014).

Os modelos hidrológicos de qualidade da água estão sendo cada vez mais usados para determinar os impactos das práticas de conservação dos recursos hídricos, ecologia e serviços ecossistêmicos relacionados à água (Moriassi et al., 2015). Em regiões áridas e semiáridas e, notadamente, em áreas onde reservatórios superficiais foram desenvolvidos para usos múltiplos da água (Rabelo et al., 2021), como no caso do estado do Ceará, a aplicação de métodos eficientes e rápidos de modelagem da qualidade de água torna-se necessária e urgente (Carvalho et al., 2022; Fraga et al., 2020; Rocha & Lima Neto, 2021).

Nesse contexto, a modelagem da concentração de fósforo total a partir de outros parâmetros de qualidade de água e de variáveis hidro climáticas se revela como uma estratégia importante para diagnosticar a condição atual do corpo hídrico, antecipar rapidamente os cenários mais deletérios e proporcionar a solução de problemas a fim de evitar colapsos hídricos.

OBJETIVO

Desenvolver um modelo matemático para estimar a concentração de Fósforo Total (P) no reservatório Castanhão/CE a partir de variáveis hidro climáticas e de qualidade da água.

METODOLOGIA UTILIZADA

Localizado no município de Alto Santo (Ceará), o açude Castanhão foi concluído no ano de 2002 e apresenta capacidade de armazenamento de 6,7 bilhões m³. Devido à sua grande extensão (aproximadamente 45.310 km²), representa importante mecanismo de controle das secas e das cheias sazonais para o vale do rio Jaguaribe, assim como, para o restante do Ceará, enquanto reserva hídrica estratégica para o Estado (Molisani et al., 2013).

O referido reservatório, integrante do macrossistema composto pelos reservatórios Castanhão, Curral Velho, Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião, atende à demanda do abastecimento hídrico do município de Fortaleza e regiões circunvizinhas (Figura 1) (COGERH, 2022).

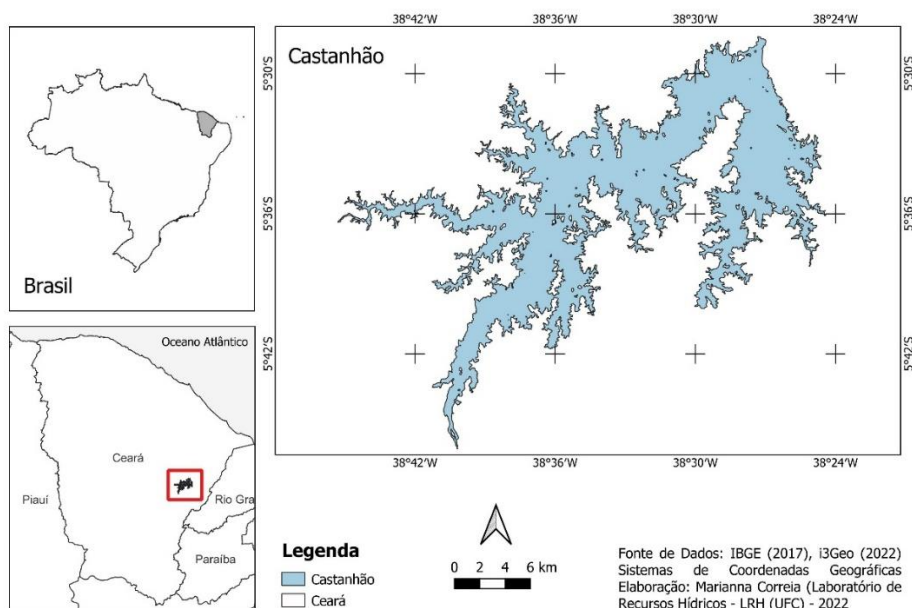


Figura 1: Mapa de Localização Açude Castanhão/CE.

Os dados do monitoramento dos parâmetros qualitativos (Fósforo Total - P, Clorofila - C, Nitrogênio - N, Transparência - T e Cianobactérias - B) e quantitativos (Volume - V) referentes aos anos de 2013 a 2021 foram disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do estado do Ceará (COGERH, 2022). Esses dados foram obtidos a partir de amostragens mensais realizadas ao longo do referido período e, portanto, foram consideradas as médias mensais para cada parâmetro. Foram aplicadas técnicas da estatística descritiva de forma a observar o comportamento dos dados coletados. Os dados foram normalizados e então, aplicou-se a análise da componente principal (PCA).

As variáveis explicativas (C, N, V, T e B) que se correlacionaram significativamente com a variável resposta (P) foram incorporadas ao modelo pelo método Stepwise. O modelo de regressão que continha variáveis explicativas facilmente determináveis foi o preferido entre os modelos com maior R^2 Ajustado. O modelo de regressão selecionado foi então avaliado pela normalidade, homoscedasticidade dos resíduos e significância do coeficiente R^2 ajustado. Todos os testes estatísticos foram realizados utilizando o nível de significância de 5% ($\alpha = 5\%$) e o programa RStudio (Team, 2018).

Esse trabalho tem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e faz parte do projeto que é extensão do projeto CAPACIDADE DE SUPORTE DO AÇUDE CASTANHÃO (Projeto nº 02625308/2021) executado em parceria com a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), no âmbito do Programa Cientista Chefe (Recursos Hídricos) da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2a mostra o volume médio mensal e a capacidade total do Reservatório Castanhão entre os anos de 2013 a 2021, bem como a precipitação mensal no mesmo período do município de Alto Santo – Ceará, onde fica localizado este reservatório. A Figura 2b mostra a concentração de Fósforo Total no mesmo reservatório no período estudado.

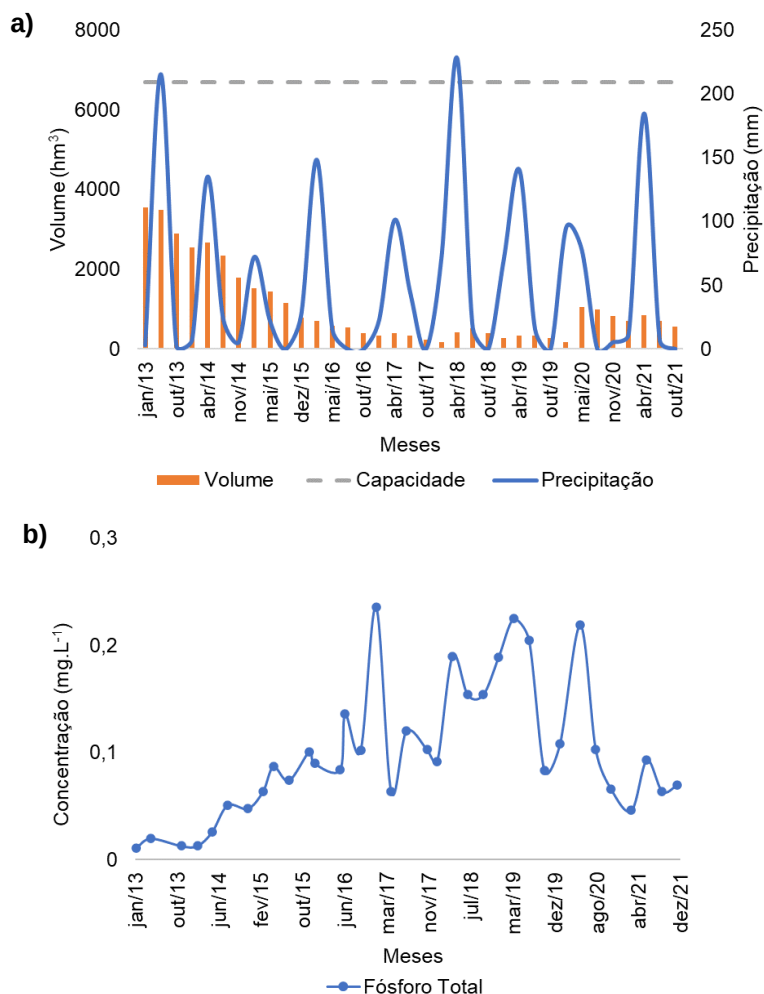


Figura 2: a) Volume e Capacidade do Reservatório Castanhão e Precipitação na área em estudo entre 2013 e 2021. b) Concentração de Fósforo Total no Reservatório Castanhão entre 2013 e 2021.

A Figura 3 mostra as relações entre as 6 variáveis (representadas por vetores) no plano definido pelos dois principais componentes (PC1 e PC2) que mostram as variáveis com maior correlação entre si, agrupadas pela variância de dados. Foram 6 parâmetros (Tabela 1) cujos resultados da PCA explicam 54% e 16,1% o agrupamento dessas variáveis.

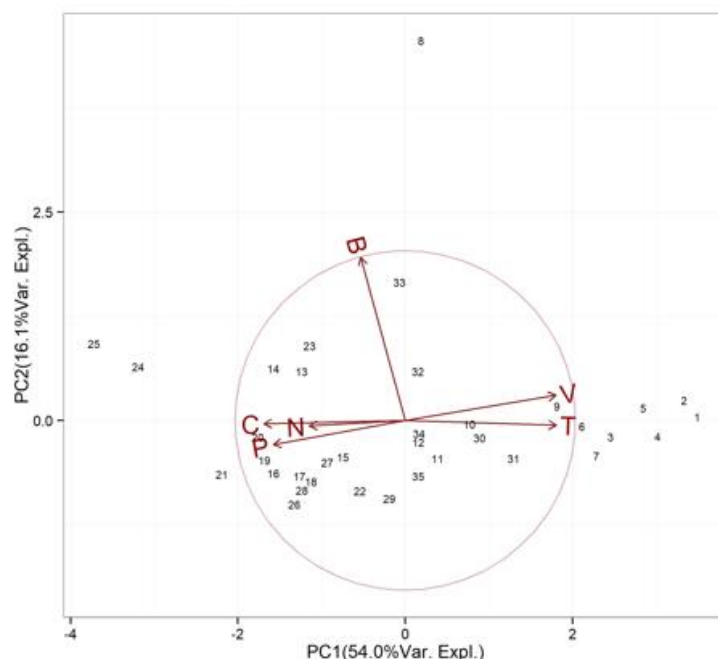


Figura 3: Gráfico da análise multivariada dos parâmetros em estudo entre 2013 e 2021.

Tabela 1: Resultado da análise multivariada dos parâmetros em estudo entre 2013 e 2021.

Dados	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
V	*0,519	0,151	0,114	-0,082	*0,621	*0,574
N	-0,312	-0,031	**0,889	0,222	-0,091	0,228
P	-0,430	-0,144	-0,289	*0,689	0,483	0,040
C	-0,460	-0,018	0,126	*-0,607	0,552	-0,311
B	-0,144	**0,976	-0,021	0,118	-0,009	-0,102
T	*0,502	-0,028	0,309	0,291	0,258	*-0,713
Proporção da Variância	0,540	0,161	0,137	0,081	0,058	0,023

**Muito significativa (>0,75); *significante (0,75 - 0,50); insignificante (<0,50)

Na busca por um modelo matemático capaz de estimar a concentração de Fósforo Total foram gerados múltiplos modelos de regressão, com suas respectivas correlações (R^2 Ajustado), envolvendo todas as combinações possíveis das variáveis (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos de regressão múltipla entre a variável resposta (P) e as variáveis explicativas (V, N, C, B, T).

MODELO	VARIÁVEIS	R^2 AJUSTADO	MODELO	VARIÁVEIS	R^2 AJUSTADO
1	V + T	0,418	17	V + N + C + B + T	0,364
2	V + C	0,41	18	N + T	0,362
3	V	0,408	19	C + T	0,354
4	V + C + T	0,405	20	B + T	0,347
5	V + N + T	0,401	21	N + C + T	0,344
6	V + B + T	0,4	22	N + B + T	0,344
7	V + B	0,392	23	C + B + T	0,335

8	V + N + C	0,392	24	N + C + B + T	0,324
9	V + C + B	0,392	25	C	0,232
10	V + N	0,39	26	N + C	0,212
11	V + N + C + T	0,385	27	C + B	0,209
12	V + C + B + T	0,385	28	N + C + B	0,187
13	V + N + B + T	0,381	29	N	0,056
14	V + N + C + B	0,373	30	N + B	0,032
15	V + N + B	0,372	31	B	-0,018
16	T	0,365			

Utilizando-se o método de regressão linear, foi escolhido o modelo mais adequado dentre os modelos indicados na Tabela 2. A Tabela 3 mostra os coeficientes dos modelos de regressão múltipla previamente selecionados, bem como o p-valor e os limites superiores e inferiores para cada coeficiente estimado.

Tabela 3: Coeficientes das equações obtidas através da correlação entre parâmetros.

PARÂMETRO ESTIMADO	PARÂMETRO RELACIONADO	COEFICIENTES	P-VALOR	INTERVALO DE CONFIANÇA	
				LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Modelo 1 (R ² Ajustado = 0,418 / R ² = 0,452)					
P	V	-2,8E-05	0,053	-5,7E-05	4,1E-07
	T	-0,018	0,220	-0,049	0,011
	Interseção	0,160	2,7E-10	0,124	0,196
Modelo 2 (R ² Ajustado = 0,410 / R ² = 0,445)					
P	V	-3,6E-05	2,3E-03	-5,7E-05	-1,4E-05
	C	4,9E-04	0,300	-4,6E-04	1,5E-03
	Interseção	0,124	4,9E-06	0,078	0,169
Modelo 3 (R ² Ajustado = 0,408 / R ² = 0,425)					
P	V	-4,2E-05	2,2E-05	-6E-05	-2,5E-05
	Interseção	0,144	1,5E-13	0,119	0,168
Modelo 4 (R ² Ajustado = 0,405 / R ² = 0,457)					
P	V	-2,8E-05	0,063	-5,7E-05	1,6E-06
	C	2,8E-04	0,600	-8E-04	1,37E-03
	T	-0,014	0,406	-0,049	0,021
	Interseção	0,145	1,7E-04	0,076	0,214

Dentre os parâmetros estatísticos observados, o modelo 3 é o mais adequado e a Equação (1) abaixo é obtida.

$$P = -4,2E-05 \cdot V + 0,144 \quad \text{equação (1)}$$

Uma comparação entre os valores reais observados e os valores previstos pelo modelo selecionado para a variável P (equação 1) é apresentada na Figura 4.

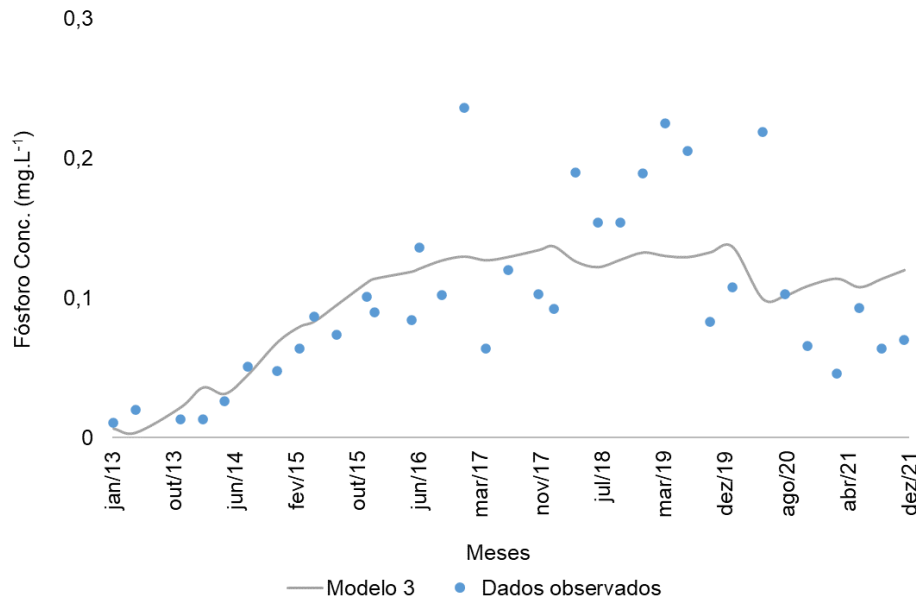


Figura 4: Comparação entre dados reais observados e dados previstos pelo modelo escolhido.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No estado do Ceará, no município de Alto Santo, entre 2013 e 2021, as chuvas mensais registradas (Figura 2a) indicaram que nos meses onde a precipitação foi intensa, as concentrações de fósforo total para o mesmo período também foram elevadas (Figura 2b). Esse fato pode ter proporcionado uma instabilidade na qualidade da água do reservatório e aumentando a concentração de fósforo total na coluna d'água (Rocha & Lima Neto, 2021). Oyama & Nobre (2003) afirmam que os solos do semiárido brasileiro são geralmente rasos e que a cobertura vegetal é relativamente escassa, e portanto, são facilmente degradados pela ação das fortes chuvas que se concentram em alguns poucos dias do ano. Isto acaba resultando numa intensa erosão dos solos em questão elevando a carga de sólidos em suspensão carregados para os reservatórios, e conseqüentemente, enriquecendo o reservatório com os nutrientes lixiviados, como o fósforo (Freitas, 2008). Aliado a isso, para o mesmo período estudado, quanto menor o volume do reservatório, maior a concentração de fósforo na coluna de água, que é um comportamento esperado para este nutriente (Wu et al., 2016).

As diferentes variações na qualidade da água nos reservatórios podem ter várias causas, tais como: padrões sazonais e variações no regime de vazão, diferentes usos da terra, tempo variável de retenção de água e variação significativa do nível da água. Estudos anteriores em reservatórios artificiais encontraram concentrações de Fósforo variando de 1 a 3270 µg.L⁻¹ (Han et al., 2018; Li et al., 2020; Rattan et al., 2017), que são valores próximos aos valores observados no presente estudo.

Alterações existentes nos fatores ambientais como temperatura, pH, oxigênio dissolvido e disponibilidade de nutrientes como Fósforo e Nitrogênio podem comprometer a qualidade da água dos reservatórios em questão (Duong et al., 2013). Nesse sentido, a Figura 3 mostra as relações entre as 6 variáveis representadas pelos dois principais componentes (PC1 e PC2) do novo sistema de coordenadas que, no gráfico da Figura 3 representam 70,1% da variância dos dados originais. Além disso, as cargas dos fatores (Tabela 1) podem ser classificadas como muito significante, significante e insignificante correspondendo aos valores absolutos iguais a > 0,75; 0,75 - 0,50; < 0,50, respectivamente (Hair et al., 2006).

PC1 apresenta convergência positiva das variáveis V e T (explica 54,04% da variância). Os outros componentes PC2, PC3, PC4, PC5 e PC6 apresentam proporções de variância menores em relação ao PC1 (Tabela 1) e portanto, não são relevantes para a análise. Assim, segundo a Figura 3 e Tabela 1, as variáveis mais relevantes são V e T, indicando que elas poderiam ser utilizadas para estimar a concentração de Fósforo Total no Castanhão. De acordo com Rocha & Lima Neto (2021), o volume (V) e a vazão de água (Qs) são os parâmetros necessários para estimar a

carga P e portanto, pode-se prever a carga de fósforo no reservatório Santo Anastácio/CE a partir de dados de concentração de P e de entrada medidos diretamente na entrada do reservatório.

De acordo com a Tabela 2, os modelos que apresentam valores de R^2 ajustado maiores são os modelos 1, 2, 3 e 4. Por outro lado, embora o modelo selecionado para estimar a variável resposta (P) deva ter um R^2 ajustado elevado, é preferível que o modelo selecionado exija o menor número de variáveis, para efeito de simplicidade.

Com base nisso, a partir da Tabela 3, é possível observar que o modelo 1, 2 e 4 não são adequados pois os valores do p-valor para pelo menos uma das variáveis explicativas de cada modelo são maiores do que o nível de significância adotado ($\alpha = 5\%$) e o intervalo de confiança para cada coeficiente passa por zero. Por outro lado, o modelo 3, que inclui a variável V, é uma escolha razoável, uma vez que o valor do p-valor está abaixo do nível de significância adotado ($\alpha = 5\%$) e o intervalo de confiança para cada coeficiente não passa por zero.

A comparação entre os dados reais observados e previstos pelo modelo escolhido é apresentada na Figura 4. A Figura 4 revela que maiores concentrações de P tendem a ocorrer em períodos secos, quando altas taxas de evaporação e tempo de retenção de água no reservatório favorecem o acúmulo de fósforo na coluna d'água. Nota-se que os dados obtidos pelo modelo selecionado se ajustaram bem aos dados medidos, por isso é considerado válido e capaz de explicar 40,8% da variável P. Essa escolha é corroborada por Moriasi et al. (2015) que demonstrou que o desempenho deste modelo (R^2 Ajustado = 0,408 / $R^2 = 0,425$) pode ser julgado como “satisfatório” para valores de R^2 entre 0,40 e 0,65.

CONCLUSÕES

O modelo de regressão múltipla foi capaz de prever a concentração de Fósforo Total no Reservatório Castanhão usando variáveis facilmente mensuráveis, como o volume. Embora o modelo contenha apenas uma variável explicativa e um valor de R^2 Ajustado inferior aos outros modelos selecionados, foi considerado uma solução mais prática e apresentou boa precisão. Embora as diferenças entre as concentrações de Fósforo observadas e medidas tenham sido em média 20%, este modelo pode ser aplicado para ter uma previsão aproximada da concentração de fósforo no reservatório Castanhão. Essa modelagem matemática pode ser uma importante ferramenta para antecipar rapidamente possíveis cenários degradantes da qualidade da água e proporcionar a solução de problemas a fim de evitar futuros colapsos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albuquerque, M. V. da C., Cartaxo, A. da S. B., Paula e Silva, M. C. C. de, Ramos, R. de O., Sátiro, J. R., Lopes, W. S., Leite, V. D., & Ceballos, B. S. O. de. (2020). *Remoção de cianobactérias e cianotoxinas presentes em águas de reservatórios eutrofizados por Processos Oxidativos Avançados (POAS)*. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 61234–61248. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-514>
2. Carvalho, T. M. N.; Lima Neto, I. E.; & Souza Filho, F. A.; (2022). *Uncovering the influence of hydrological and climate variables in chlorophyll-A concentration in tropical reservoirs with machine learning*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(49), 74967–74982. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21168-z>
3. COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. (2022). Portal Hidrológico do Ceará. www.hidro.ce.gov.br
4. Delmiro Rocha, M. de J., & Lima Neto, I. E. (2022). *Phosphorus mass balance and input load estimation from the wet and dry periods in tropical semiarid reservoirs*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 10027–10046. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16251-w>
5. Duong, T. T., Le, T. P. Q., Dao, T.-S., Pflugmacher, S., Rochelle-Newall, E., Hoang, T. K., Vu, T. N., Ho, C. T., & Dang, D. K. (2013). *Seasonal variation of cyanobacteria and microcystins in the Nui Coc Reservoir, Northern Vietnam*. *Journal of Applied Phycology*, 25(4), 1065–1075. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9919-9>
6. Esteves, F. de A. (2011). *Fundamentos de Limnologia* (3a edição). Interciência.

7. Fraga, R. F., Rocha, S. M. G., & Lima Neto, I. E. (2020). *Impact of flow conditions on coliform dynamics in an urban lake in the Brazilian semiarid*. *Urban Water Journal*, 17(1), 43–53. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1734948>
8. Freitas, F. R. S. (2008). Eutrofização do Reservatório Cruzeta na bacia representativa do rio Seridó – RN. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental; Meio Ambiente; Recursos Hídricos e Hidráulica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
9. Guedes, H. A. S., Silva, D. D., Elesbon, A. A. A., Ribeiro, B. M., Matos, A. T., & Soares, J. H. P. (2012). *Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 558–563.
10. Hair, J. F., Tatham, R. L., Anderson, R. E., & Black, W. (2006). *Análise Multivariada de Dados* (5a edição). Bookman.
11. Han, C., Zheng, B., Qin, Y., Ma, Y., Yang, C., Liu, Z., Cao, W., & Chi, M. (2018). *Impact of upstream river inputs and reservoir operation on phosphorus fractions in water-particulate phases in the Three Gorges Reservoir*. *Science of The Total Environment*, 610–611, 1546–1556. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.109>
12. Li, N. X., Xu, J. F., Yin, W., Chen, Q. Z., Wang, J., & Shi, Z. H. (2020). *Effect of local watershed landscapes on the nitrogen and phosphorus concentrations in the waterbodies of reservoir bays*. *Science of The Total Environment*, 716, 137132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137132>
13. Lima Neto, I. E., Medeiros, P. H. A., Costa, A. C., Wiegand, M. C., Barros, A. R. M., & Barros, M. U. G. (2022). *Assessment of phosphorus loading dynamics in a tropical reservoir with high seasonal water level changes*. *Science of The Total Environment*, 815, 152875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152875>
14. Lima Neto, I. E., Wiegand, M. C., & de Araújo, J. C. (2011). *Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin*. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), 319–333. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.553616>
15. Lopes, F. B., Andrade, E. M. de, Meireles, A. C. M., Becker, H., & Batista, A. A. (2014). *Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(4), 437–445.
16. Molisani, MM., Becker, H., Barroso, HS., Hijo, CAG., Monte, TM., Vasconcellos, GH., & Lacerda, LD. (2013). *The influence of castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral Jaguaribe river (CE, Brazil)*. *Brazilian Journal of Biology*, 73(1), 115–123. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000100013>
17. Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). *Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria*. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>
18. Oyama, M. D., & Nobre, C. A. (2003). *A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America*. *Geophysical Research Letters*, 30, 2199–2203.
19. Rabelo, U. P., Dietrich, J., Costa, A. C., Simshäuser, M. N., Scholz, F. E., Nguyen, V. T., & Lima Neto, I. E. (2021). *Representing a dense network of ponds and reservoirs in a semi-distributed dryland catchment model*. *Journal of Hydrology*, 603, 127103. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127103>
20. Rattan, K. J., Corriveau, J. C., Brua, R. B., Culp, J. M., Yates, A. G., & Chambers, P. A. (2017). *Quantifying seasonal variation in total phosphorus and nitrogen from prairie streams in the Red River Basin, Manitoba Canada*. *Science of The Total Environment*, 575, 649–659. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.073>
21. Rocha, M. de J. D., & Lima Neto, I. E. (2021). *Modeling flow-related phosphorus inputs to tropical semiarid reservoirs*. *Journal of Environmental Management*, 295, 113123. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113123>
22. Team, R. C. (2018). R: A language and environment for statistical computing. <https://www.r-project.org/>
23. Wu, P., Qin, B., & Yu, G. (2016). *Estimates of long-term water total phosphorus (TP) concentrations in three large shallow lakes in the Yangtze River basin, China*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), 4938–4948. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5736-4>