PREVISÃO DE CONSUMO DE ÁGUA UTILIZANDO MODELAGEM COM SÉRIES TEMPORAIS: ESTUDO DE CASO EM UM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO

Water consumption forecasting using time series modeling: a case study in a university hospital

Benetti, Gustavo[1*]; Kalbusch, Andreza[2]; Henning, Elisa[3]

[1] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Joinville - SC, Brasil; gustavo.benetti@edu.udesc.br.

[2] Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brasil; andreza.kalbusch@udesc.br.

[3] Departamento de Matemática, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brasil; elisa.henning@udesc.br.

* Beneficiário de auxílio financeiro da CAPES – Brasil

RESUMO

O uso de água em hospitais ocorre em diversas atividades, como as de consumo humano, bem como em práticas de limpeza, terapias médicas e manutenção. Devido à necessidade atual de redução do consumo de água em edificações, incluindo estabelecimentos de saúde, a identificação de padrões na demanda de água e a modelagem preditiva são vitais para gestores e pesquisadores da área. Neste contexto, este estudo tem por objetivo aplicar a modelagem com séries temporais, com os métodos ARIMA, ETS e Prophet, para a estimar previsões de curto prazo do consumo de água mensal em um hospital universitário. Foram utilizados dados com frequência mensal no período compreendido entre janeiro de 2020 e dezembro de 2023 para a modelagem e foram estimadas as previsões para os meses do primeiro semestre de 2024. Os resultados mostraram que a série não é estacionária, apresentando tendência amortecida, e não possui sazonalidade mensal. As previsões com o modelo Prophet são mais acuradas (com erro percentual médio de 0,14%) do que as com os modelos ETS e ARIMA, que apresentaram erros médios percentuais de 7,54% e 8,51%, respectivamente.

Palavras-chave: Consumo de água; Modelagem; Previsão.

ABSTRACT

Water use in hospitals occurs in various activities, such as human consumption, as well as in cleaning practices, medical therapies, and maintenance. Due to the current need to reduce water consumption in buildings, including healthcare facilities, identifying patterns in water demand and predictive modeling are vital for managers and researchers. In this context, this study aims to apply time series modeling, with the ARIMA, ETS, and Prophet methods, to estimate short-term forecasts of monthly water consumption in a university hospital. Data with monthly frequency from January 2020 to December 2023 were used for modeling, and forecasts for the months of the first half of 2024 were estimated. The results showed that the series is non-stationary, presenting a damped trend, and does not have monthly seasonality. Forecasts with the Prophet model are more accurate, with an average percentage error of 0.14%, when compared to the ETS and ARIMA models, with average percentage errors of 7.54% and 8.51%, respectively.

Keywords: *Water consumption; Modeling; Forecasting.*

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso necessário à vida, constituindo um elemento importante nas diversas atividades humanas (Calza; Nogueira; Siqueira, 2012). Porém o aumento da população tem acarretado também o aumento no consumo de água (Arfanuzzaman; Rahman, 2017). Hospitais são grandes consumidores de água (Santana; Sant'Ana, 2023) e devem possuir sistemas prediais confiáveis e seguros (González et al., 2016). Batista *et al.* (2020) mencionam que o monitoramento do consumo de água é fundamental para a identificação de consumos

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8137

atípicos, contribuindo para as melhores práticas na gestão dos recursos hídricos em edificações hospitalares. Assim, prever a demanda de consumo de água em hospitais é fundamental para garantir a continuidade dos serviços de saúde, otimizar recursos e planejar sistemas de abastecimento com maior eficiência (González *et al*., 2016).

Na literatura foram encontradas pesquisas voltadas ao uso de água em edificações, utilizando dados com padrões de consumo estocásticos que demandam metodologias próprias aplicadas na previsão do consumo de água (Silva *et al.*, 2024). O emprego de modelos de previsão de consumo hídrico, é importante para o planejamento e a gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água, permitindo antecipar oscilações na demanda, promover o uso racional da água e detectar possíveis perdas ou irregularidades operacionais (Rajballie; Tripathi; Chinchamee, 2022). A aplicação de séries temporais, como no modelo ARIMA e cadeias de Markov proposta por Du, Zhao e Xue (2020), para a previsão precisa do consumo diário de água ao fazer uso de padrões históricos e tendências sazonais, proporciona uma base para a tomada de decisões na gestão de recursos hídricos. Ristow *et al.* (2021) propuseram a análise de demanda de água na cidade de Joinville, em diferentes categorias de uso, por meio de modelos de séries temporais, aplicando o método de Suavização Exponencial (ETS) e modelos ARIMA.

O modelo ARIMA é utilizado amplamente por apresentar vantagens como capacidade de capturar padrões temporais e tendências sazonais presentes nas séries históricas (Du; Zhao; Xue, 2020). O método ETS tem por função modelar a série temporal por uma suavização exponencial (Rajballie; Tripathi; Chinchamee, 2022). Os métodos de suavização exponencial, presentes no ETS, realizam previsões com base em médias ponderadas de dados históricos, atribuindo maior importância às observações mais recentes (Rajballie; Tripathi; Chinchamee, 2022). Outro modelo mais recente, e pouco explorado no cenário de consumo de água é o Prophet, desenvolvido para lidar com fortes efeitos sazonais, sendo resiliente à presença de dados faltantes e mudanças na tendência (Pires; Martins, 2024). O objetivo deste trabalho é a previsão do consumo de água em um hospital universitário no sul do Brasil para um período de seis meses. Para isso foram aplicados os modelos ARIMA, ETS e Prophet. Pretende-se também identificar os padrões da série temporal, verificando se há tendência e sazonalidade.

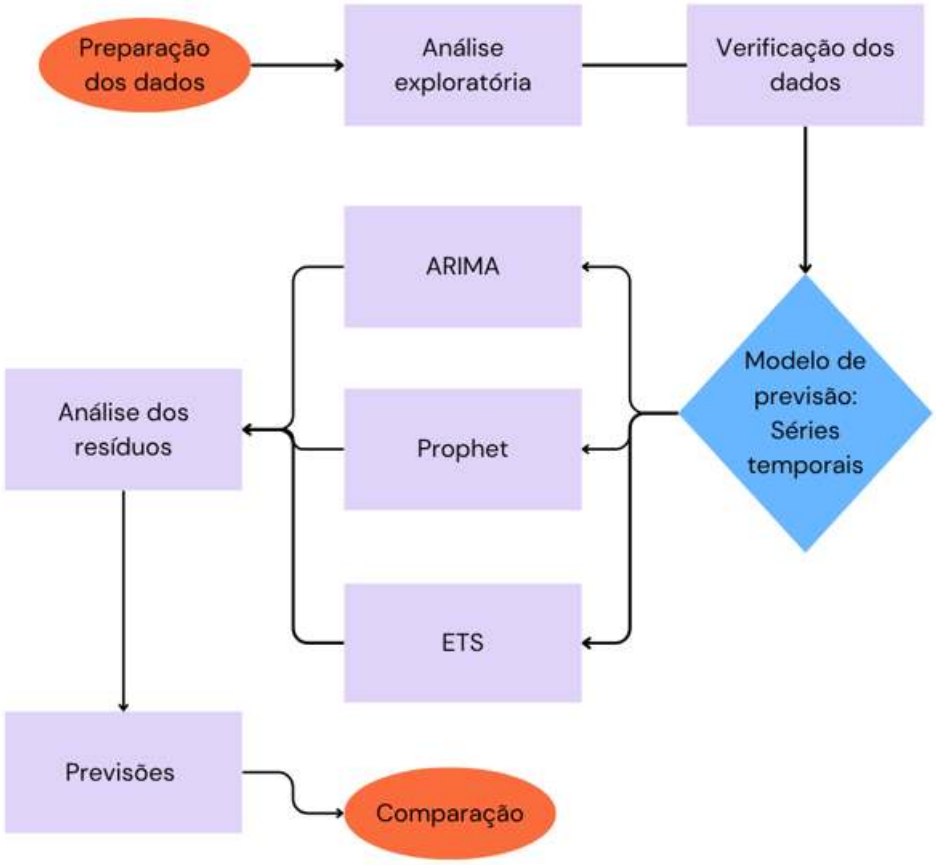
2. MATERIAIS E MÉTODOS

O Hospital Universitário Prof. Polydoro Ernani de São Thiago na Universidade Federal de Santa Catarina (HU/UFSC) teve sua fundação em 1980 na cidade de Florianópolis (SC) e atende pacientes pelo Sistema Único de Saúde (SUS), em nível ambulatorial e hospitalar. A unidade hospitalar apresenta um total de 403 leitos, sendo 354 da Unidade de Internação e 49 da UTI, além das 58 salas de ambulatório, 10 salas para atendimento de emergência, 7 salas do Centro Cirúrgico e 2 salas do Centro Obstétrico. No ensino, o HU/UFSC conta com um total de 106 vagas de residência médica (Brasil, 2024). Os dados utilizados para modelagem são relativos ao período de janeiro de 2020 até dezembro de 2023 e as previsões foram feitas para os primeiros meses de 2024. A obtenção dos dados, foi feita diretamente na página de monitoramento do consumo de água nas edificações da UFSC (SETIC-UFSC, 2025).

As etapas deste trabalho estão identificadas na Figura 1, e são compostas pela coleta e organização dos dados, análise exploratória, verificação da tendência, sazonalidade e autocorrelação. Foram aplicados três modelos (ARIMA, ETS e Prophet) à série temporal. Após a modelagem foi feita a análise dos resíduos, etapa necessária para verificação dos

pressupostos. Em seguida foram feitas as previsões e aplicadas métricas de acurácia, possibilitando a comparação entre os modelos.

Figura 1 - Etapas na pesquisa



Fonte: Autores (2025)

Na etapa de modelagem, de maneira a alcançar um modelo de previsão acurado do consumo de água no hospital universitário, foram escolhidos modelos automáticos de previsão, por meio do software R (R Core Team, 2025), com o pacote *Forecast* (Hyndman; Khandakar, 2008), que possui algoritmos que otimizam a estimação dos parâmetros. A avaliação dos resultados foi feita com a função *accuracy*, visando selecionar o modelo que apresente os menores erros.

A precisão dos modelos de previsão foi testada por métricas estatísticas, sendo elas: Erro médio absoluto (MAE); Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE); Raiz quadrada do erro-médio (RMSE); Erro médio (ME); Erro percentual do modelo (MPE); Erro Médio Escalado Absoluto (MASE); teste Função de Autocorrelação (ACF), que visa medir se os resíduos apresentam autocorrelação; e por fim, o coeficiente de determinação (R^2), que fornece um uma medida referente a quão bem um determinado modelo opera (Pires; Martins, 2024).

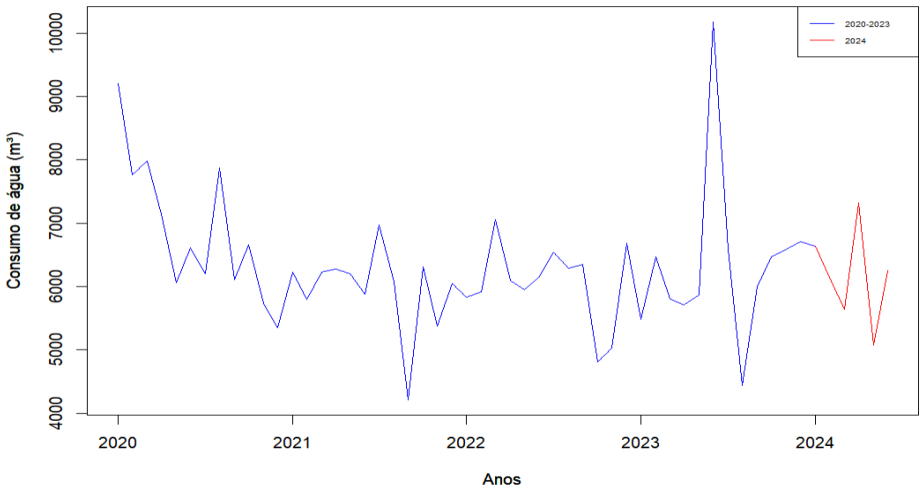
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a obtenção dos dados, foi realizada a análise exploratória. Foram removidos os dados discrepantes (*outliers*) identificados na série. Na sequência foi verificada a sazonalidade da

série, a autocorrelação e se os dados apresentavam distribuição normal. Com base nessas análises pode-se verificar se a série temporal atende as suposições necessárias para aplicação dos modelos de séries temporais aplicados. As análises incluíram verificações de estacionariedade, autocorrelação, decomposição e avaliação da normalidade da distribuição dos dados (Pires; Martins, 2024).

A série temporal com os dados de consumo de água pode ser observada na Figura 2. É possível verificar que a amplitude dos dados de consumo de água varia entre aproximadamente 4.000 e 10.000 m³ ao longo do período analisado. A série não aparenta ter sazonalidade e apresenta uma leve tendência decrescente no início do período.

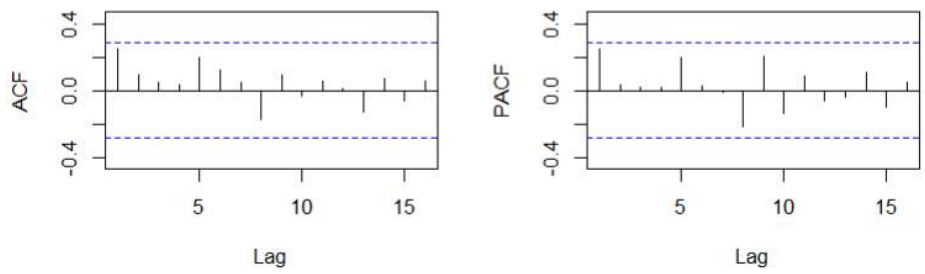
Figura 2 - Série temporal do consumo de água no HU/UFSC



Fonte: Autores (2025)

O menor valor de consumo de água foi registrado no mês de setembro de 2021, com 4.210 m³. O maior pico foi registrado em junho de 2023, atingindo 10.179 m³, e a média de consumo na série temporal é de 6.319,5 m³. Os dados não possuem distribuição normal (*p-valor* < 0,001) de acordo com o teste de Shapiro-Wilk. O fato de os dados não apresentarem distribuição normal levou à correção por meio da remoção de *outliers*. Foram removidos os *outliers* presentes na série e após esta ação, os dados apresentaram distribuição normal (*p-valor* = 0,5585). Os gráficos (Figura 3) indicam que a série não possui autocorrelação.

Figura 3 - Funções de autocorrelação amostras (ACF) e de autocorrelação parcial (PACF)



Fonte: Autores (2025)

Na Tabela 1 estão os resultados da modelagem e respectivos erros de previsão. Os modelos ARIMA (0,1,1) e ETS (M, Ad, N) refletem a ausência de sazonalidade da série. Uma pequena flutuação na tendência é captada pelos modelos com a presença da diferenciação no ARIMA e da tendência amortecida (Ad) no ETS.

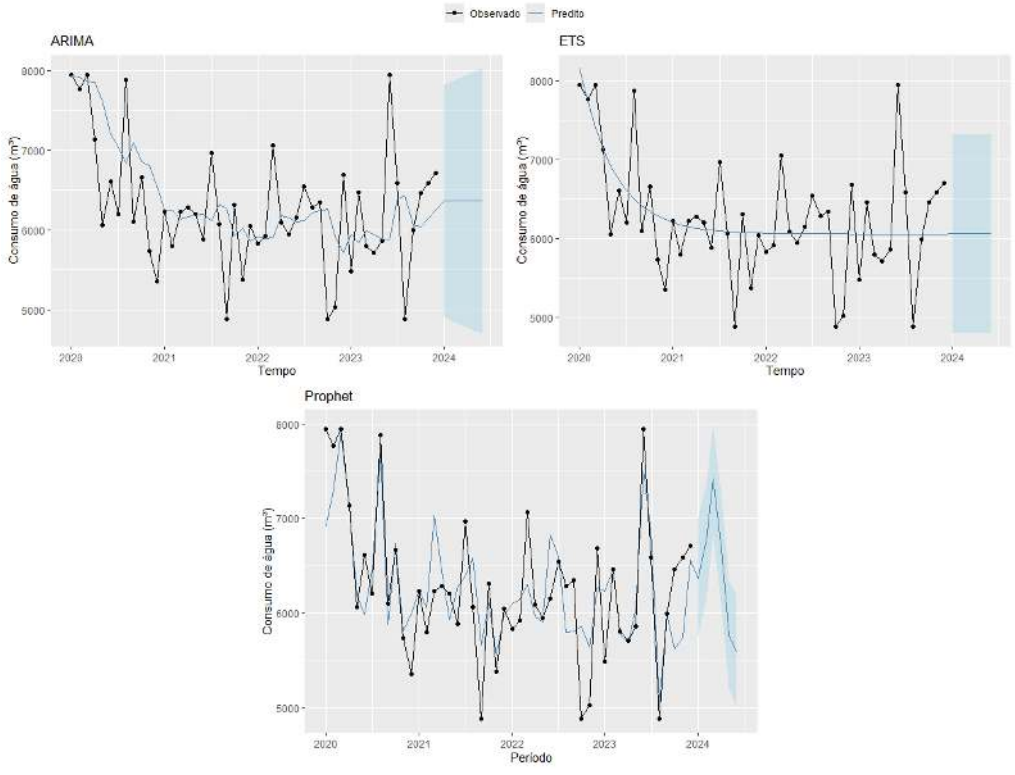
Tabela 1- Modelos e erros de previsão

Modelo	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1	R^2
ARIMA (0,1,1)	-118,2	729,00	526,92	-2,89	8,71	0,67	0,012	0,4784
ETS (M,Ad,N)	-10,79	621,35	459,70	-1,17	7,54	0,58	-0,045	0,6092
Prophet	100,71	804,24	764,71	-0,13	0,14	0,75	0,05	0,8977

Fonte: Autores (2025).

Todos os modelos testados apresentam resíduos com distribuição normal: ARIMA (0,1,1) (*p-valor* = 0,607); ETS (M, Ad, N) (*p-valor* = 0,2311) e Prophet (*p-valor* = 0,8700). Os erros computados servem para comparar os modelos e possibilitam identificar os modelos mais acurados. Os gráficos da série original com as previsões feitas pelos modelos podem ser visualizados na Figura 4.

Figura 4 - Gráficos da série original e valores preditos



Fonte: Autores (2025)

O R^2 (Tabela 1) complementa a análise estatística dos resultados, assinalando que o Prophet (R^2 = 0,8977) melhor se ajusta aos dados de consumo analisados. O R^2 = 0,6092 do modelo ETS mostra que os valores preditos têm relação linear com os dados originais, o que não ocorre com o ARIMA (R^2 = 0,4784), podendo indicar que este último modelo pode não ser tão acurado e preciso quanto os outros dois modelos para este estudo de caso. A avaliação dos resultados da Tabela 1 e dos gráficos da série original e valores preditos (Figura 4) possibilita concluir que os modelos estudados apresentam certas discrepâncias, mas de maneira geral possibilitam prever as variações para o consumo de água dentro do período analisado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foram analisados três métodos de previsão por meio de séries temporais referentes ao consumo de água em um hospital universitário. Utilizando dados de aproximadamente quatro anos, foram projetadas para um período de seis meses as tendências previstas para o consumo de água. Ao comparar com os dados reais obtidos, os modelos que apresentaram melhor desempenho foram o ETS e o Prophet.

A comparação dos modelos possibilitou identificar certas discrepâncias tanto pelo gráfico de da série original e valores preditos (Figura 4) quanto pelos erros de cada modelo (Tabela 1). Assim, os menores erros preditos e os melhores desempenhos pelo coeficiente de determinação foram identificados nos modelos ETS e Prophet.

Algumas das limitações neste estudo foram relacionadas aos dados apresentarem valores discrepantes, o que, segundo o setor responsável, poderia indicar vazamentos ou possíveis medições equivocadas. Os melhores modelos para previsão do consumo de água neste estudo de caso foram o ETS e o Prophet, considerando erros de previsão baixos e R^2 mais elevado. Na continuidade da pesquisa, outros modelos podem ser testados, assim como métodos de previsão de longo prazo ou em tempo real.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES, entidade do Governo Brasileiro voltada para a formação de recursos humanos. Os autores agradecem também o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC (2023TR000334) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERÊNCIAS

ARFANUZZAMAN, M.; RAHMAN, A. A. Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and ground water depletion for social ecological resilience building. **Global Ecology and Conservation,** v. 10, p. 9–22, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.01.005.

BATISTA, K. J. M.; SILVA, S. R.; RABBANI, E. R. K.; ZLATAR, T. Systematic review of indicators for the assessment of water consumption rates at hospitals. **Water Supply**, v. 20, 2020. DOI: https://doi.org/10.2166/ws.2019.169.

BOUBAKER, S. Identification of monthly municipal water demand system based on autoregressive integrated moving average model tuned by particle swarm optimization. **Journal of Hydroinformatics**, v. 19, p. 261–281, 2017. DOI: https://doi.org/10.2166/hydro.2017.035.

BRASIL. Governo Federal. HU-UFSC registra avanços em 2024. Florianópolis SC: Ebserh, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-sul/hu-ufsc/comunicacao/noticias/hu-ufsc-registra-avancos-em-2024#:~:text=Ainda%20em%202024%2C%20o%20HU,investimento%20na%20assist%C3%AAncia%20%C3%A0%20sa%C3%BAde. Data de acesso 12 dez. 2024.

CALZA, L. F.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C. Diagnóstico preliminar e proposta de adequação para o uso eficiente da água no Hospital Universitário do Oeste do Paraná (Preliminary diagnosis and proposal of adequacy for the efficient use of water at the university hospital of the west of Paraná). **Revista Acta Iguazu**, Cascavel, v. 1, n. 4, p. 27–35, 2012.

DU, H.; ZHAO, Z.; XUE, H. ARIMA: a new model for daily water consumption prediction based on the autoregressive integrated moving average model and the Markov chain error correction. **Water**, v. 12, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/w12030760.

GONZÁLEZ, A. G.; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J.; SALGADO, D. R.; MENA, A. A quantitative analysis of cold water for human consumption in hospitals in Spain. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel, v. 13, n. 7, p. 647, 2016. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5058574/. Acesso em: 18 jul. 2025.

HYNDMAN, R. J.; KHANDAKAR, Y. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. **Journal of Statistical Software**, v. 27, n. 3, p. 1–22, 2008. DOI: https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03.

PIRES, C.; MARTINS, M. V. Enhancing water management: a comparative analysis of time series prediction models for distributed water flow in supply networks. **Water**, v. 16, n. 13, p. 1827, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/w16131827.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

RAJBALLIE, A.; TRIPATHI, V.; CHINCHAMEE, A. Water consumption forecasting models – a case study in Trinidad (Trinidad and Tobago). **Water Supply**, v. 22, 2022. DOI: https://doi.org/10.2166/ws.2022.147.

RISTOW, D. C. M.; HENNING, E.; KALBUSCH, A.; PETERSEN, C. E. Models for forecasting water demand using time series analysis: a case study in Southern Brazil**. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 11, n. 2, p. 231–240, 1 mar. 2021. DOI: https://doi.org/10.2166/washdev.2021.208.

SANTANA, L.; SANT'ANA, D. Análise dos usos finais de água em hospital público de Brasília, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v, 28, e2022022, 2023. https://doi.org/10.1590/S1413-415220220228.

SETIC-UFSC. Coordenadoria de Gestão Ambiental – CGA. Disponível em: <https://gestaoambiental.ufsc.br/gestao-das-aguas/abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SILVA, A. C. DA, SILVA, F. DAS G. B. DA, VALÉRIO, V. E. DE M., SILVA, A. T. Y. L., MARQUES, S. M., & REIS, J. A. T. Application of data prediction models in a real water supply network: comparison between ARIMA and artificial neural networks. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 29, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.292420230057.