CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA NA CIDADE DE JOINVILLE: UM ESTUDO CORRELACIONAL E DE SÉRIES TEMPORAIS

Water and electricity consumption in the city of Joinville: a correlational and time series study

Cesconetto, Aline da Rosa[1]; Fleischmann, Lucas Henrique[2]; Henning, Elisa[3]; Kalbusch, Andreza[4]

[1] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Departamento de Engenharia Elétrica, Joinville-SC, Brasil, aline.cesconetto@edu.udesc.br.

[2] Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil, lucas.fleischmann@usp.br.

[3] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Departamento de Matemática, Joinville-SC, Brasil, elisa.henning@udesc.br.

[4] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, Joinville-SC, Brasil, andreza.kalbusch@udesc.br.

RESUMO

Os estudos de métodos correlacionais que investigam a problemática de conservação da água e energia elétrica são essenciais. No contexto do ambiente construído, em edificações residenciais, identificar de forma conjunta padrões de consumo de água e energia, permite o desenvolvimento de medidas sustentáveis para o gerenciamento eficiente destes recursos. Neste estudo, analisa-se a inter-relação entre o consumo residencial mensal de água e energia elétrica no período de janeiro de 2013 a março de 2024 na cidade de Joinville, localizada no sul do Brasil. A metodologia proposta inclui estatísticas descritivas, análise da correlação e de séries temporais. Foram aplicados modelos de suavização exponencial (ETS) e modelos autorregressivos de média móvel (ARIMA) por meio do software R. Os resultados revelaram que o consumo de água e o de energia elétrica apresentam correlação positiva e forte. As séries temporais do consumo de água e de energia elétrica têm a mesma estrutura no que tange à tendência e sazonalidade, com métricas de acurácia similares. Para complementar, foi desenvolvido um modelo de regressão que permite estimar o consumo de energia a partir do consumo de água. A metodologia proposta pode ser ampliada para análise e previsão em outros contextos e outras localidades.

Palavras-chave: Consumo de água e energia elétrica; ARIMA; Suavização Exponencial; Séries temporais; Conservação de água e energia elétrica.

ABSTRACT

The studies of correlational methods that investigate the issue of water and electricity conservation are essential. In the context of the built environment, in residential buildings, the joint identification of water and energy consumption patterns allows the development of sustainable measures for the efficient management of these resources. This study analyzes the interrelationship between residential water and electricity consumption from January 2013 to March 2024 in the city of Joinville, located in southern Brazil. The proposed methodology includes descriptive statistics, correlation analysis and time series. Exponential smoothing models (ETS) and autoregressive moving average models (ARIMA) were applied using R software. The results showed that water consumption and energy consumption have a strong positive correlation. The water and electricity consumption time series present the same structure in terms of trend and seasonality, with similar accuracy metrics. To complement the analysis, a regression model was developed to estimate energy consumption based on water consumption. The proposed methodology can be extended for analysis and forecasting in other contexts and locations.

Keywords: *Water and electricity consumption; ARIMA; Exponential smoothing; Time series; Water and electricity conservation.*

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8151

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades e as mudanças climáticas, torna-se importante o estudo do consumo de água e de energia elétrica em conjunto para a conservação desses recursos (Matos *et al.*, 2013). No trabalho de Li *et al*. (2024) analisa-se a relação entre consumo de água e energia elétrica em residências, utilizando modelos de regressão e de aprendizado de máquina. Para relacionar fatores que influenciam no consumo residencial de água e energia, Abdallah (2012) utilizou regressão linear. A interdependência entre o consumo de energia elétrica e água em residências está ligada às práticas duplas, como o aquecimento de água por meio da energia elétrica em chuveiros e máquinas de lavar louça e roupas (Mostafavi *et al*., 2017). Dessa forma, destaca-se a importância de estudar a relação entre o consumo de água e energia por meio de métodos estatísticos. Este estudo busca compreender essa dinâmica.

2 MÉTODO

Este estudo sobre a correlação entre o consumo residencial de água e de energia elétrica, foi realizado na cidade de Joinville, que está localizada no sul do Brasil, com aproximadamente 616.317 mil habitantes e apenas 41,66% de domicílios atendidos pela rede de coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2022). As séries temporais correspondem ao consumo residencial mensal de água e energia elétrica da cidade, no período de janeiro de 2013 a março de 2024. Os dados de consumo de água foram fornecidos pela Companhia Águas de Joinville e de energia elétrica, pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC).

A análise estatística foi realizada no software R (R Core Team 2024), como a correlação de Pearson, regressão linear e análise de séries temporais com os modelos autorregressivos de média móvel (ARIMA) e de suavização exponencial. Para a validação dos modelos foram utilizadas as métricas RMSE (raiz do erro quadrático médio), MAPE (erro percentual absoluto médio) e o R^2 (coeficiente de determinação) (Hyndman; Athanasopoulos, 2021).

O método de suavização exponencial foi aplicado com a função “ets” do pacote “fpp3”, com os parâmetros do modelo divididos em erro, tendência e sazonalidade, podendo ser M (multiplicativo), N (nada), A (aditivo) ou Ad (aditivo amortecido) (Hyndman; Athanasopoulos, 2021). Para o método ARIMA, os modelos são ajustados por meio da função “arima” do pacote “fpp3” (Hyndman; Athanasopoulos, 2021). A série temporal foi dividida em dois conjuntos: o de treino, com dados de janeiro de 2013 a dezembro de 2023, utilizado para a estimar os parâmetros, e o de teste, com dados de janeiro a março de 2024, destinado à validação do modelo.

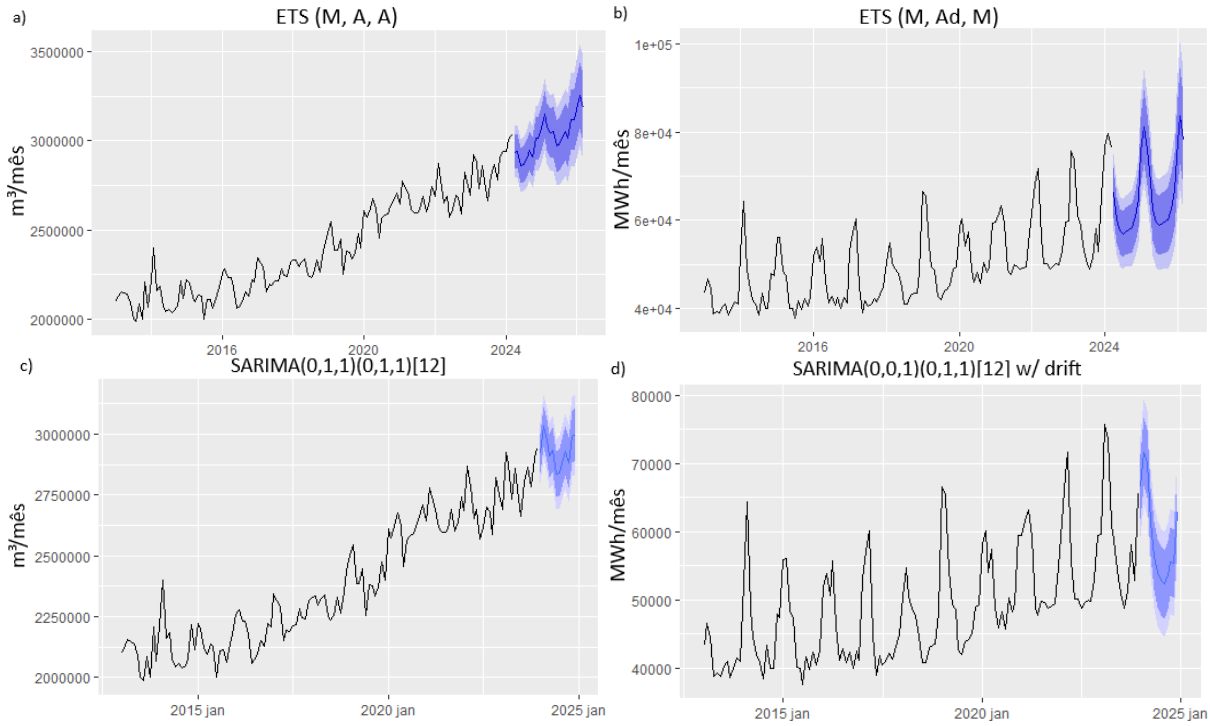
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O coeficiente de correlação linear de Pearson entre o consumo mensal residencial de água e de energia elétrica resultou em $r = 0{,}77$ (p-valor < 0,001). Os resultados indicam que a correlação linear é positiva, forte e significativa. O consumo médio de água residencial na cidade foi de 2.403.184 m³/mês (desvio padrão=274.495,70 m³/mês) e o consumo médio de energia elétrica residencial foi de 49.724 MWh/mês (desvio padrão = 9.119,77 MWh/mês).

Para as séries temporais individuais, inicialmente foi utilizado o método de suavização exponencial. Na Figura 1 apresentam-se os gráficos das séries temporais, as previsões pontuais e intervalares para os modelos ajustados. As séries temporais de consumo mensal

residencial de água (m³/mês) e de energia (MWh/mês) apresentam tendência e sazonalidade. Todavia, os modelos ETS mostraram que a série de consumo mensal residencial de água apresenta tendência aditiva e a de consumo residencial de energia elétrica, tendência aditiva amortecida. Isto significa que o consumo de energia residencial não cresceu tanto quanto o de água. Além dos modelos com suavização exponencial, foram ajustados modelos ARIMA sazonais (SARIMA), em que o consumo residencial de energia elétrica contém leve flutuação na média de crescimento, ou seja, aumenta gradativamente sem constância, mas sem afetar a análise. As métricas de acurácia também podem ser verificadas na Tabela 1.

Figura 1 – Gráficos das Séries Temporais e Previsões para o consumo residencial de (a) água, em m³/mês (ets); (b) energia elétrica, em MWh/mês (ets); (c) água, em m³/mês (Sarima); (d) energia elétrica, em MWh/mês (Sarima)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Tabela 1 – Modelos ETS e SARIMA ajustados, métricas de acurácia, coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson

Modelo	Consumo	Unidade	RMSE	MAPE	R^2	Correlação
ETS (M,A,A)	Água	m³/mês	55453,19	1,91	0,96	0,98
ETS (M,Ad,M)	Energia	MWh/mês	3264,84	4,67	0,87	0,94
SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	Água	m³/mês	59074	1,93	0,95	0,97
SARIMA $(0,0,1)(0,1,1)_{12}$	Energia	MWh/mês	3510	4,89	0,81	0,90

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Por fim, a partir da relação linear entre o consumo residencial de água (m³/mês) e consumo de energia elétrica (MWh/mês), foi ajustado um modelo de regressão linear simples

(Equação 1), que permite estimar o consumo de energia elétrica com base no consumo de água predito.

$$y = 0{,}02562 \cdot x - 11852{,}7 \quad \text{(Eq.1)}$$

Sendo:

y, o consumo de energia elétrica (MWh/mês);
x, o consumo residencial de água (m³/mês).

Utilizando a Equação 1, foram calculadas previsões para o consumo de energia elétrica dos meses de janeiro, fevereiro e março de 2024, aplicando em x os valores preditos para o consumo residencial de água obtidos por meio do modelo SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$. Os valores calculados foram comparados com as previsões de consumo de energia elétrica obtidas com o modelo SARIMA $(0,0,1)(0,1,1)_{12}$. O valor do R^2, entre valores reais e preditos com a Equação 1 foi R^2= 0,75, superior ao obtido com o modelo SARIMA (R^2 = 0,51). Essa diferença pode ser explicada pela estrutura do modelo SARIMA com *drift*, que não captou o padrão de tendência amortecida ao final da série, gerando previsões com maiores erros. Desta forma, os resultados mostram o potencial da proposta de modelagem.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo indicou que o consumo residencial de água e energia elétrica estão relacionados, apresentando um coeficiente de correlação de 0,77. A análise das séries temporais mostrou padrões sazonais e tendências que ajudaram a entender melhor o comportamento do consumo residencial de água e energia elétrica, sugerindo que essa abordagem pode ser eficaz para fazer previsões e estudar a inter-relação. A partir da Equação 1, utilizando os valores preditos, pode-se verificar que é possível obter previsões de curto prazo mais acuradas com menor esforço computacional. A correlação linear e positiva entre estes dois consumos mostra a importância da criação de políticas públicas com medidas de incentivo às práticas de conservação da água e energia elétrica de maneira conjunta no ambiente residencial. Na continuidade do trabalho, pretende-se analisar o consumo *per capita* e criar um aplicativo em linguagem R para aprimorar a análise, possibilitando sua adaptação para outras localidades.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, A. M. **Heterogeneous water and energy end-uses and implications for residential water and energy conservation and management.** 2012. 54 f. Dissertação (Mestrado) – Utah State University, Logan, 2012. Disponível em: https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2311&context=etd. Acesso em: 11 de maio 2025.

CELESC. **Dados de consumo.** CELESC, 2024. Disponível em: https://www.celesc.com.br/home/mercado-de-energia/dados-de-consumo. Acesso em: 15 de jul. 2024.

COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE. **Site institucional**. 2024. Disponível em: https://www.aguasdejoinville.com.br/. Acesso em: 15 de jul. 2024.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: principles and practice.** 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021. Disponível em: https://otexts.com/fpp3. Acesso em: 27 de ago. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/. Acesso em: 17 de abr. 2024.

LI, Z. et al. **Enhancing the explanation of household water consumption through the water-energy nexus concept**. npj Clean Water, [S.l.], v. 7, art. 8, 2024. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41545-024-00298-6. Acesso em: 12 de maio 2025.

Matos, C. et al. **Water and energy consumption in urban and rural households.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CIB W062 – WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 39., 2013, Nagano, Japão. *Proceedings of the CIB W062 Symposium 2013*. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263069488_Water_and_energy_consumption_in_urban_and_rural_households. Acesso em: 2 mar. 2025.

MOSTAFAVI, N. et al. **Predicting water consumption from energy data: Modeling the residential energy and water nexus in the integrated urban metabolism analysis tool (IUMAT).** Energy and Buildings, v. 158, p. 1683-1693, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817329973. Acesso em: 5 de abr. 2025.

R CORE TEAM. R: **A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 20 de dez. 2024.

SNIS. **Painel de indicadores 2022.** Disponível em: https://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-esgoto?codigo=4209102. Acesso em: 3 de jan. 2025.