

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

Aline da Rosa Cesconetto, Andreza Kalbusch, Elisa Henning

### 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). 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 auxiliar a compreensão dessa dinâmica, com o objetivo de analisar a inter-relação entre o consumo de água e energia elétrica na cidade de Joinville e desenvolver modelos de previsão.

### DESENVOLVIMENTO

As séries temporais correspondem ao consumo residencial de água ( $\text{m}^3/\text{mês}$ ) e energia elétrica ( $\text{MWh}/\text{mês}$ ) da cidade e ao consumo *per capita* de água ( $\text{litro}/\text{habitante}/\text{dia}$ ) e energia elétrica ( $\text{kWh}/\text{habitante}/\text{dia}$ ) da cidade, no período de janeiro de 2013 a março de 2024. Foram aplicados os métodos de correlação de Pearson, análise de séries temporais, utilizando os modelos autorregressivos de média móvel (ARIMA) e de suavização exponencial (ETS) e regressão linear simples. Para a validação dos modelos foram utilizadas as métricas: raiz do erro quadrático médio (RMSE), erro percentual absoluto médio (MAPE) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Hyndman; Athanasopoulos, 2021). Por fim, foi desenvolvido um aplicativo em linguagem R (R CORE TEAM, 2025) para a modelagem realizada.

### RESULTADOS

O consumo médio de água residencial mensal na cidade foi de  $2.403.184 \text{ m}^3/\text{mês}$  (desvio padrão =  $274.495,70 \text{ m}^3/\text{mês}$ ) e o consumo médio de energia elétrica residencial mensal foi de  $49.724 \text{ MWh}/\text{mês}$  (desvio padrão =  $9.119,77 \text{ MWh}/\text{mês}$ ). O consumo médio per capita de água foi de  $132,8 \text{ litro}/\text{habitante}/\text{dia}$  (desvio padrão =  $11,42 \text{ litro}/\text{habitante}/\text{dia}$ ) e o de energia elétrica foi de  $2,65 \text{ kWh}/\text{habitante}/\text{dia}$  (desvio padrão =  $0,47 \text{ kWh}/\text{habitante}/\text{dia}$ ). O coeficiente de correlação linear de Pearson entre o consumo mensal residencial de água e de energia elétrica resultou em  $r = 0,77$  ( $p\text{-valor} < 0,001$ ). Os resultados indicam que a correlação linear é positiva, forte e significativa. Para as séries temporais de consumo de água e energia elétrica foram ajustados modelos ETS e ARIMA. Na Figura 1 apresenta-se o consumo de água *per capita*, por meio de um recorte do aplicativo desenvolvido, com as previsões pontuais e intervalares de ambos os modelos. As séries temporais de consumo de água ( $\text{m}^3/\text{mês}$ ) e de energia ( $\text{MWh}/\text{mês}$ ) apresentam tendência e sazonalidade. Todavia, os modelos ETS mostraram que a série de água apresenta tendência aditiva e a de energia elétrica, tendência aditiva amortecida. Isto significa que o consumo de energia residencial não cresceu tanto quanto o de água. Para os modelos ARIMA sazonais (SARIMA), o consumo de energia elétrica apresenta uma tendência linear (*drift*) ao longo do tempo. As séries de consumo *per capita* tem mudança

de nível a partir de 2020, a série de água apresenta tendência linear, mas a de energia não possui tendência

A partir da relação linear entre o consumo mensal residencial de água (m³/mês) e consumo mensal de energia elétrica (MWh/mês), foi ajustado um modelo de regressão linear simples e desenvolvida uma equação que permite estimar o consumo de energia elétrica com base no consumo de água predito.

Com a equação desenvolvida, foram calculadas previsões para o consumo de energia elétrica dos meses de janeiro, fevereiro e março de 2024, e os valores preditos foram comparados com as previsões de um modelo SARIMA (0,0,1)(0,1,1)<sub>12</sub> com *drift*. O valor do R², entre valores reais e preditos com a equação desenvolvida foi R²= 0,75, superior ao obtido com o modelo SARIMA (R² = 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.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 desenvolvida, pode-se verificar que é possível obter previsões de curto prazo mais acuradas com menor esforço computacional. Desta forma, os resultados mostram o potencial da proposta de modelagem.

**Palavras-chave:** consumo de água e energia elétrica; ARIMA; suavização exponencial; séries temporais; conservação de água e energia elétrica.

## ILUSTRAÇÕES

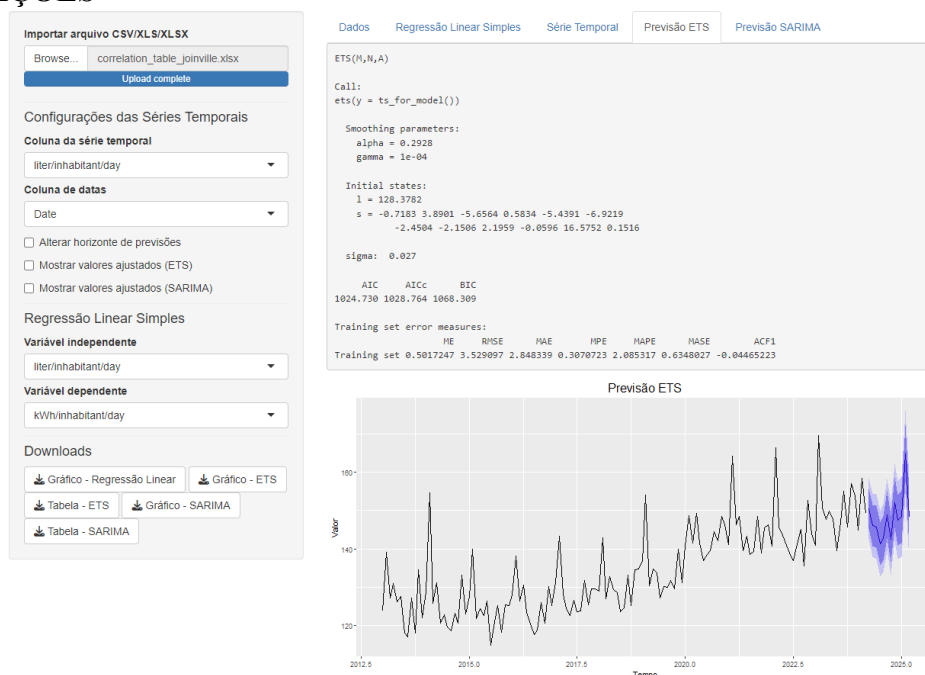


Figura 1 – Recorte do aplicativo desenvolvido

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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. CIB W062 Symposium 2013. p. 1-14.

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.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.005>. 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.

---

## DADOS CADASTRAIS

---

**BOLSISTA:** Aline da Rosa Cesconetto

**MODALIDADE DE BOLSA:** PIBIC/CNPQ

**VIGÊNCIA:** maio/2022 a dezembro/2025 – Total: 44 meses

**ORIENTADOR(A):** Elisa Henning

**CENTRO DE ENSINO:** CCT

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Matemática

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Engenharias / Engenharia Civil

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Métodos estatísticos e de aprendizado de máquina para análise do consumo de água em edificações.

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** NPP3195-2025