

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE ETAR NO SETOR IMOBILIÁRIO: Caso de Estudo em Belém/Pará/Brasil

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF WWTP IMPLEMENTATION ON THE REAL ESTATE SECTOR: Case Study in Belém/Pará/Brazil

Gabriel Almeida da Silva ^{a}, Érico Gaspar Lisboa ^a, Stefânia Lima Diocesano ^a*

^aUniversidade da Amazônia, Avenida Alcindo Cacela nº 287, Belém, Pará, Brasil

RESUMO

Ainda que promover o saneamento das cidades possa valorizar o setor imobiliário, impactos da implementação de estações elevatórias (EEAR) e de tratamento de águas residuais (ETAR) podem desvalorizar imóveis situados em zonas que lhes sejam circunvizinhas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da implantação e operação de ETAR e EEAR na valoração imobiliária. A metodologia hedônica foi desenvolvida para estimar tais influências definindo zonas de impacto, condições de bem-estar urbano e características físicas de imóveis como variáveis. Complementarmente, a interpolação espacial foi aplicada mapeando áreas de influências positivas e negativas pela implementação de EEAR e ETAR. Aplicado à Zona de Gestão Sede ETAR-Sul de Belém/Pará/Brasil, observou-se tendência média de desvalorização de casas até 500 m das EEAR e ETAR entre 19,21%-78,93%. Além dos 500 m da EEAR e 1.500 m da ETAR, houve tendência de valorização média entre 7,22%-87,64%. Assim, ações mitigatórias dos potenciais impactos para implementar EEAR e ETAR podem influenciar o setor imobiliário, pelo que se deve estabelecer políticas urbanas e de saneamento efetivas.

Palavras Chave – Saneamento. ETAR. Odor. Influência. Setor Imobiliário.

ABSTRACT

Even if promoting sanitation in cities can increase the value of the real estate sector, generating odors due to the operation of collective systems through pumping stations (EEAR) and sewage treatment stations (ETAR) can devalue properties in neighboring areas. This work aimed at the influence assessment due to the implementation impacts of the collective sewage treatment system, as urban amenity, on real estate valuation. The hedonic methodology is processed to estimate these influences by defining impact zones, urban well-being, and the physical characteristics of real estate. Spatial interpolation mapped the positive and negative influence areas due to the EEE and ETE implementation. Applied to the ZG-Sede-ETAR-Sul at Belém/PA, an average devaluation trend of 19,21%-78,93% was observed for houses up to 500 m from the EEAR and ETAR, beyond 1,500 m, an average appreciation of 7.22%-87.64%. Therefore, mitigating actions to address potential impacts in order to implement EEAR and ETAR can influence the real estate sector, which is why effective urban and sanitation policies must be established.

Keywords – Sanitation. ETAR. Odor. Influence. Real Estate.

* *Autor para correspondência. Corresponding author.*
E-mail: galmeidas.silva@gmail.com (Eng.)

1 DESTAQUES/HIGHLIGHTS

A implementação de EEAR e ETAR pode desvalorizar imóveis situados às suas proximidades. Para estimar esta influência desenvolveu-se metodologia hedônica. Por geoestatística tal influência foi mapeada em área urbana de Belém/Pará/Brasil. Observou-se tendência média de desvalorização entre 19,21%-78,93% até 500 m da ETAR. Além de 1.500 m, em média, imóveis tenderam a se valorizar entre 7,22%-87,64%.

2 OBJETIVOS/OBJECTIVES

A implementação de infraestruturas urbanas pode proporcionar bem-estar aos habitantes das cidades (De Noronha; Vaz, 2020). Entretanto, acerca das infraestruturas sanitárias, da totalidade das águas residuais gerados pelos principais centros urbanos do Brasil, pouco mais de 50% tiveram tratamento. Na região norte do Brasil, próximo de 22% das águas residuais produzidos pelas cidades são tratados (SNIS, 2023). Para colmatar este cenário, o Plano Nacional do Saneamento Básico previu mais de R\$500 mil milhões para universalizar o saneamento de cidades brasileiras, incluindo tratar as águas residuais (PLANSAB, 2020).

A implantação de infraestrutura sanitária gera impactos positivos (amenidades) que, além de melhorar a qualidade ambiental, de vida e saúde pública, valorizam o setor imobiliário de cidades (e.g., Castanheira; Baydum, 2015). Entretanto, poucas investigações constataram a influência negativa (desamenidades) da implementação de ETAR e EEAR sobre o mercado imobiliário, quer pela proliferação de insetos, quer pela dispersão e propagação de bioaerossóis e odores ofensivos (e.g., Lins, 2010; Lisboa, 2023).

Embora os estudos sobre a influência de (des)amenidades no setor imobiliário recorram a modelações hedônicas (Rosen, 1974); em cidades da região norte do Brasil como Belém/PA tais estudos são incipientes (e.g., Duarte *et al.* 2013; Lima, 2021; Lisboa *et al.* 2023).

Considerando a importância destes estudos para auxiliar a gestão e o planeamento urbano e estimar custos sociais de (des)amenidades, escolheu-se Belém/PA pelo facto de que não há investigações que tenham avaliado a influência da implementação do sistema de tratamento coletivo de águas residuais no setor imobiliário. E, pelo atual plano de saneamento, adotou-se a tecnologia UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) associado a "lodos ativados" para tratar águas residuais por 6 ETAR, alimentadas por 60 EEAR, cujo detalhamento do sistema de tratamento coletivo de águas residuais pode ser consultado em PMSB (2020).

Entretanto, impactos sócio-urbanísticos gerados às populações circunvizinhas destas estações, sobretudo quanto ao mercado imobiliário das referidas "ZG", não foram considerados por PMSB (2020). Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da implementação do tratamento coletivo de águas residuais no setor imobiliário, considerando potencial impacto de implantar e operacionalizar EEAR e ETAR, desenvolvendo-se metodologia com base na teoria hedônica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS/MATERIALS AND METHODS

3.1 Método Estatístico de Regressão Linear/Statistical Linear Regression Method

A teoria hedônica é base para valorar imóveis e suas externalidades, cujo método estatístico de regressão linear é comumente utilizado, implementando-se quatro fases. Na primeira selecionam-se as variáveis independentes (X_i) ($i=1,2,...,n$) que influenciam na estimação da variável dependente (Y_i). Para tanto, pode-se utilizar técnicas o coeficiente de correlação (R), determinação (R^2) e ajustado (R^2_a), o quadrado médio dos erros, estimativa do C_p de Mallows, critério de Akaike, etc (Montgomery *et al.* 2006). Pela segunda fase obtém-se o modelo matemático, cuja variação de Y_i seja explicada por n -variáveis, X_i . Pela extração de amostras da população se estima os parâmetros de X_i que podem explicar o comportamento de Y_i por:

$$\hat{Y}_i = \beta_0 \pm \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon_i \quad (\text{eq. 1})$$

Onde β_0 e β_i se refere aos parâmetros de X_i . O termo ε_i é o erro na estimativa pela função $\hat{Y}_i$. Assim, a diferença (ΔY) entre Y_i e $\hat{Y}_i$ deve ser 0, onde $\Delta Y^2 = (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ é o desvio quadrático total.

Pela terceira fase estima-se β_0 e β_i pela técnica dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Assume-se que β_0 e β_i devem ser BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), i.e., menor variância entre estimadores lineares não-viesados, não violando as hipóteses de Gauss-Markov (HGM): modelo de regressão é linear nos parâmetros; amostragem é aleatória; erros homocedásticos e tem distribuição normal; e, variáveis independentes não colineares entre si.

A quarta fase inclui a análise da variância (ANOVA), cujo desempenho do modelo é avaliado e a significância (α) de β_0 e β_i e $\hat{Y}_i$. O desempenho está relacionado aos erros de estimação de $\hat{Y}_i$ aferida pelo coeficiente R^2 e R^2_a . O termo α de β_0 e β_i é aferida pelo teste Student (teste-t), sendo $\alpha \leq 5\%$ aceitável. O teste Fisher-Snedecor (teste-F) avalia a significância de $\hat{Y}_i$, onde o modelo é relevante quando α estiver entre 1%-5%.

Para processar estas fases utilizou-se o *software* SisDEA® verificando: HGM, desempenho do modelo, pelo R^2 e R^2_a , e significância (α) de β_0 e β_i e $\hat{Y}_i$. Adota-se não tolerar $R^2 < 0,81$, e $0,49 < R^2_a < 0,81$ (Duarte *et al.* 2013). Avalia-se homocedasticidade pelo teste de White. A normalidade de erros é aferida pela regra 3σ : $1\sigma[63\%-73\%]$, $1,64\sigma[85\%-95\%]$ e $1,96\sigma[95\%-100\%]$ que, caso não seja satisfeita faz-se o teste qui-quadrado. Calcula-se o VIF (*Variance Inflation Factor*) para avaliar não-colinearidades entre X_i . Avalia-se dados "outliers"; e, dados influenciadores pela estatística de Cook (Gazola, 2002)

3.2 Variáveis e Influência de (Des)Amenidades/Variables and Amenities Influence

As variáveis, X_i , foram definidas como exógenas e endógenas. As endógenas se relacionam as características de imóveis. As exógenas estão relacionadas a localização, bem-estar, qualidade da vizinhança, etc; denominadas de (des)amenidades urbanas (Lisboa *et al.* 2023). Embora não haja dúvida que as endógenas influenciam no preço de mercado, aferir a influência de (des)amenidades na precificação de imóveis ainda é condição limitante. Para superá-la é recorrente adotar modelação hedônica, pelo que se adotou duas etapas.

Pela primeira etapa coletam-se dados de forma aleatória por plataforma "web" de anúncios de venda. Baseado em Yang *et al.* (2021), o preço de oferta foi reduzido em 10%. Recorre-se a este procedimento, pois em países em desenvolvimento existe barreiras no fornecimento de dados por agências imobiliárias e órgãos públicos (Lima, 2021).

Assume-se que as casas sejam habitáveis e que o preço é função de variáveis endógena, área privativa- X_1 , número de suítes- X_2 , padrão construtivo- X_3 (SINDUSCON-PA, 2024); e, exógena. Quanto as variáveis exógenas, considerou-se que o impacto da implementação do tratamento coletivo de águas residuais por EEAR e ETAR e o bem-estar urbano influenciam na valoração de casas, de forma positiva ou negativa.

Para condições de bem-estar urbano adotou-se o índice IBEU cujas dimensões são: mobilidade, condições ambientais, habitacionais, serviços coletivos urbanos e infraestrutura (Ribeiro; Ribeiro, 2013). Adotou-se: $0,001 \leq \text{IBEU} \leq 0,700$ (pobre-P:1), $0,701 \leq \text{IBEU} \leq 0,800$ (regular-R:2) e $0,801 \leq \text{IBEU} \leq 1,00$ (boas-B:3). A Figura 1B ilustra o IBEU dos bairros do caso de estudo. O IBEU não considera insegurança, felicidade, etc, identificados nos diferentes contextos sociais de metrópoles, segregação residencial e segmentação territorial (Ribeiro; Ribeiro, 2013).

Assumindo existir a síndrome NIMBY (*Not In My Back Yard*) (Iftekhar *et al.* 2018) considerou-se que a insatisfação mais frequente da vizinhança pela operação de EEAR e ETAR é a geração de odores e desvalorização de imóveis às proximidades. Adotou-se que, com base em Lins (2010), no raio de 500 m da EEAR e ETAR existe zona diretamente impactada (ZID). Impactos positivos comuns são a melhoria na qualidade ambiental (rios), da saúde pública e qualidade da vida urbana (Lins, 2010; Iftekhar, 2018; Lisboa, 2023). Assim, imóveis situados entre 500-1.500 m da ETAR enquadraram-se em zona moderada de impacto pela geração de odores

e beneficiada pela implantação das estações (ZIBI) (Lisbôa, 2023). Além de 1.500 m, imóveis situam-se em zonas que apenas se beneficiam diretamente das estações (ZBD), pois odores não são mais ofensivos, tendo-se apenas impacto positivos (Lins, 2010; Lisbôa, 2023). Então definiu-se: alto impacto-A(ZID:1), moderado impacto-M(ZIBI:2) e baixo impacto-B(ZBD:3).

Convém ressaltar que não se aferiu odores. Portanto, assumiu-se que a propagação de odores se relaciona com a direção e intensidade dos ventos (Lisbôa, 2023). Assim, adotou-se que nas ZID, ZIBI e ZBD, quando imóveis situados nos quadrantes da “rosa de ventos” de maior frequência de direção e intensidade, maior o potencial de propagar odores advindo da EEAR e ETAR, atribui-se código “0” e quando menor, código “1”.

Pela segunda etapa aplica-se o método estatístico de regressão linear, obtendo-se o modelo estatístico para estimar Y_i em função de $X_1, X_2, \dots, X_n$ e suas influências. E, para que as últimas fases da regressão linear sejam satisfeitas, estima-se o preço de casas pelas atuais condições de (des)amenidades. Para estimar a influência destas condições, quanto a propagação do odor, recorre-se a formulação proposto por Lisboa *et al.* (2023):

$$I_i = \left[1 - \left(\frac{\hat{Y}_i'}{\hat{Y}_i} \right) \right] x 100 \quad (\text{eq. 2})$$

Onde “ I_i ” é a influência positiva (+) ou negativa (-), máxima [$I_{i(máx)}$], mínima [$I_{i(mín)}$] e média [$I_{i(méd)}$] serão interpolados pelo *software* Golden Surfer®. E, $\hat{Y}_i$, é preço estimado para imóveis pelo modelo produzido. O $\hat{Y}_i'$ é a estimativa do preço do imóvel pelo modelo aferindo-se a influência do odor na ZID, ZIBI e ZBD, obtendo-se: $I_{i(máx)}$ e $I_{i(mín)}$ do impacto “B” substitui-se código (3)→(1) e (3)→(2); $I_{i(máx)}$ e $I_{i(mín)}$ do impacto “M” substitui-se código (2)→(1) e (2)→(3); e, $I_{i(máx)}$ e $I_{i(mín)}$ do impacto “A” substitui-se código (1)→(3) e (1)→(2), respetivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES/RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Caracterização da Área de Estudo/Characterization of the Study Area

O “*ranking*” do Instituto Trata Brasil apoiado pelo Governo Federal, apontou que Belém/PA trata pouco mais de 2% de toda a água residual gerada em área urbana. Esta situação colocou Belém/PA na 97ª posição dentre as cem principais cidades brasileiras (Lisbôa, 2023). O novo plano de saneamento centralizou o tratamento por bacias, reduzindo ETAR e aumentando EEAR. Delimitou-se 5 regiões, 36 bacias e 64 sub-bacias de esgotamento; e, 6 ETAR e 60 EEAR inseridas em zonas de gestão-ZG (Sede, Outeiro e Mosqueiro). Na ZG-Sede-ETAR-Sul foi proposto 2 ETAR (SUL e ESTRADA NOVA) e 9 EEAR (PMSB, 2020) (Figura 1A).

4.2 Avaliação da Modelação Estatística/Statistical Modelling Assessment

Pelo SisDEA® gerou-se 500 modelos. Aquele de melhor desempenho estimou R , R^2 e R^2_a em 0,9137; 0,8349; e, 0,8181, cujas variáveis indicaram $\alpha \leq 5\%$. Adotando-se o princípio da parcimônia (Gujarati; Porter, 2011), as variáveis explicaram mais de 83% da variação do preço na ZG-Sede-ETAR-Sul. O Quadro 1 apresenta ANOVA, testes e resultados da regressão linear.

Além da coerência das demais variáveis, quanto maior é o impacto da geração do odor, menor será o preço de imóveis. O modelo é fiável em 99 % ($\alpha=1\%$), e possibilita realizar inferência (Teste-F=49,73). A modelação não violou as HGM. Pela regra 3σ : $1\sigma[66\%]$, $1,64\sigma[96\%]$ e $1,96\sigma[98\%]$, os erros tem distribuição normal. Pelo VIF não se indicou colinearidade entre variáveis, X_i ($1 \leq \text{VIF} \leq 10$). Os “*outliers*” <5% da amostra, e não se detetou dados influenciadores pela distância de Cook. Pelo teste de White a hipótese de homoscedasticidade não foi violada.

4.3 Influência da distância no Sector Imobiliário/Distance influence in Real Estate

Na ZG-Sede-ETAR-Sul notou-se que, pela implementação de EEAR e ETAR, preços de casas na ZID apresentaram tendência de desvalorização entre 32,41%-99,58%. Na ZIBI, casas tem se desvalorizaram e valorizaram entre 15,49%-91,34% e 2,79%-39,27%, respetivamente.

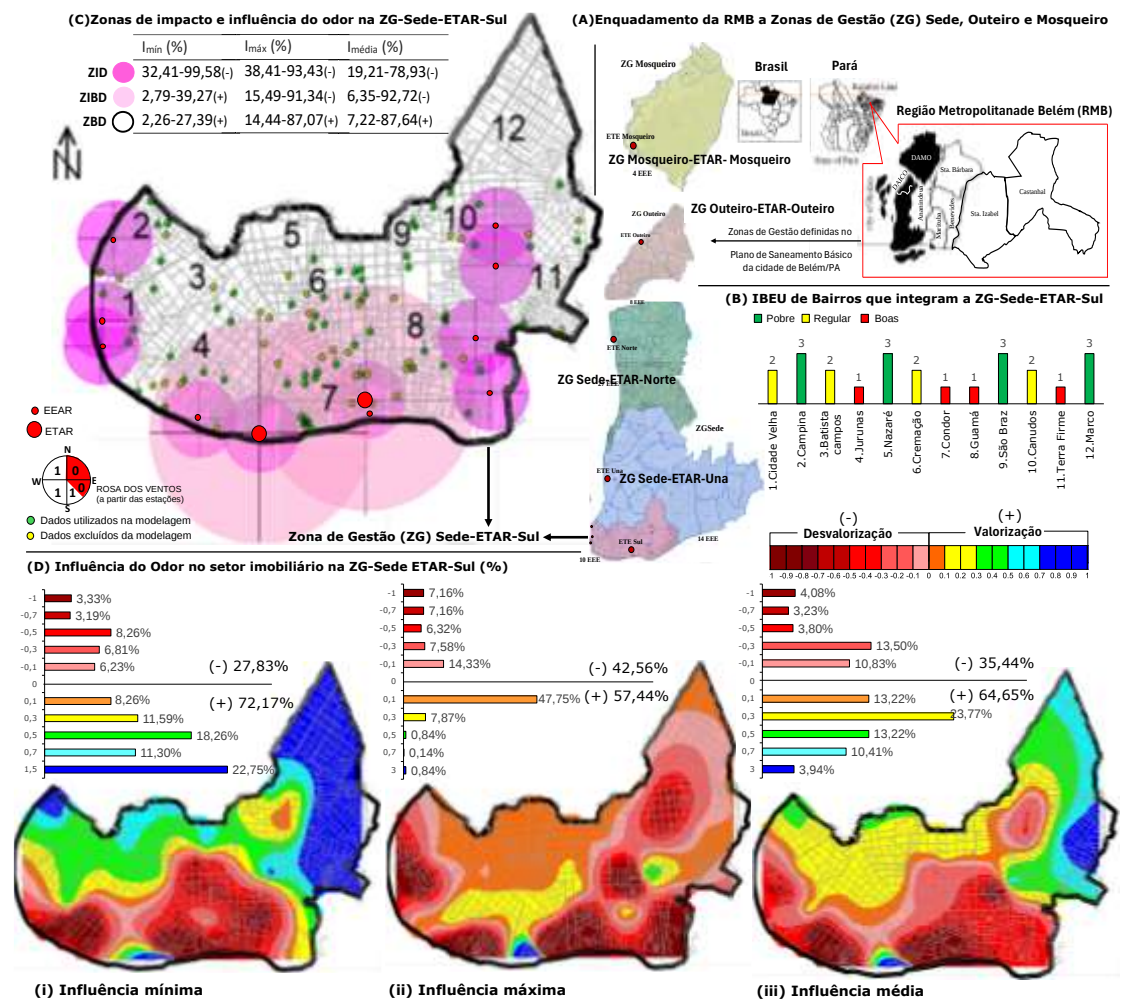


Figura 1. A influência da implementação de EEAR e ETAR no setor imobiliário na ZG-Sede-ETAR-Sul.

Quadro 1. ANOVA, testes estatísticos e resultados da estatística de regressão linear

Variáveis	Característica	Limites (Mín-Máx)	Unidades	Modelo	$\beta_i (\times 10^3)$	Teste-t	$\alpha(\%)$	VIF
X_1	Área privativa	34-750	m ²	$X_1^{1/2}$	18,292	4,70	0,00	1,47
X_2	Nº de suítes	0-5	-	X_2	67,278	5,71	0,00	1,42
X_3	Padrão Construtivo	2.023,63-3.088,17	R\$/m ²	X_3^2	0,0316	4,68	0,00	1,15
X_4	Vento	0-1	-	X_4	78,820	3,83	0,34	1,25
X_5	Impacto	1-3	-	$1/X_5^2$	-138,010	2,73	0,02	1,23
X_6	IBEU	1-3	-	$1/X_6^2$	-23,989	-5,26	0,01	1,16
Y_i	Preço Unitário	158,82-3.750,0	R\$/m ²	$\hat{Y}_i$	-167,597	-4,99	1,25	-

Na ZBD, imóveis tenderam a se valorizar entre 2,26%-87,07% (Figura 1C). Pela interpolação espacial de $I_{i(\max)}$, $I_{i(\min)}$ e $I_{i(\text{méd})}$, 27,83%, 42,56% e 35,44% da ZG-Sede-ETAR-Sul, as casas tenderam a se desvalorizar quanto mais próximo de ETAR/EEAR, respetivamente (Figura 1D).

5 CONCLUSÕES/CONCLUSIONS

Nesta pesquisa, pela assunção de condicionamentos e pressupostos, em cidades da Amazônia brasileira, os imóveis tendem a se desvalorizar e valorizar quando se situarem-se em zonas inferiores a 500 m e superiores a 1.500 m de ETAR, respetivamente. Portanto, este estudo pioneiro pode auxiliar o desenvolvimento de políticas públicas de saneamento e planeamento urbano para mitigar os possiveis impactos negativos da operação EEAR e ETAR, pelo que tais políticas são importantes instrumentos para impulsionar o setor imobiliário de cidades.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Castanheira, J. P. A., Baydum, V. P. A. (2015). Percepção dos Impactos Socioambientais da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Relatados pelos Moradores do Residencial Olho d'Água, Jaboatão dos Guararapes, PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8 (3), 876-887.
- De Noronha, T., Vaz, E. V. (2020). *O impacto da estrutura urbana na arquitetura do bem-estar e da felicidade*. In: DIAS, Jorge Humberto. Perspetivas sobre a Felicidade. Contributos para Portugal no World Happiness Report (ONU) – 2º volume. Lisboa. p. 110-128
- Duarte, A. M., De Souza Angelim, E. C., Das Neves, R. M., Duarte, A. R. C., Maneschy, C. E., Nascimento, D. M., Haddad, E. (2013). The influence of urban violence and land title irregularity on the market value of properties: A case study in Belém, an Amazon metropolis. *Cities*, v. 35, p. 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.07.006>.
- Gazola, S. (2002). *Construção de um modelo de regressão para avaliação de imóveis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Gujarati, D N., Porter, D. C. (2011). *Econometria básica*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH. 924 p
- Iftekhar, M.S., Burton, M., Zhanga, F., Kininmonth, I., Fogarty, J. (2018). Understanding social preferences for land use in wastewater treatment plant buffer zones. *Landscape and Urban Planning*, V. 178, Pages 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.025>.
- Lima, G.V. B. A. (2021). *Influência de inundações no valor de aluguel de imóveis comerciais em Belém, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém.
- Lins, G. A. (2010). *Avaliação de Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE)*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Lisbôa, E.G. (2023). *Contribuições ao Processo de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Esgotos em Zonas Urbanas: Proposta de uma Modelagem Multicritério*. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano, Universidade da Amazônia, Belém.
- Lisboa, E.G., Gomes, R.D.S., Junior, W.S. (2023). *A Influência dos Impactos de Alagamentos nos Preços de Apartamentos: Modelagem por Inferência Estatística Aplicada na Zona Urbana da Cidade de Belém/PA*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias (COBREAP), XXII, São Paulo. Anais [...] São Paulo: Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. p. 1-30.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G. (2006). *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey, 2006
- PLANSAB. (2020). *Plano Nacional de Saneamento Básico- V 1*. Relatório de Avaliação Anual.
- PMSB. (2020). *Plano Municipal de Saneamento Básico- V 3- Belém-PA- Sistema de Esgotamento Sanitário*.
- Ribeiro, L. C. D. Q., Ribeiro, M. G. (2013). *Índice de Bem-Estar Urbano (IBEU)*. Rio de Janeiro, Letra Capital/Observatório das Metrópoles.
- Rosen, S. (1974). Hedonic price and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, v. 82, n. 1, p. 35-55, 1974.
- SINDUSCON-PA. (Sindicato da Construção Civil do estado do Pará). (2024). *Custos Unitários Básicos de Construção*.
- SNIS (Sistema Nacional de Informação do Saneamento). (2023). *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto* (Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental-SNSA), Brasília, Brasil.
- Yang, L., Chau, K. W., Chen, Y. (2021). Impacts of information asymmetry and policy shock on rental and vacancy dynamics in retail property markets. *Habitat International*, v. 111, n. May, p. 102359, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102359>.