



## ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE INDICADORES ECONÔMICOS DE SANEAMENTO BÁSICO PARA OS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

BRUNO PEREIRA TONIOLO; GUSTAVO JUNIEL CLEMENTE; DARLLAN COLLINS  
DA CUNHA E SILVA

### RESUMO

Conforme o novo marco regulatório do saneamento (Lei 14.026/2020), as concessionárias de saneamento básico são obrigadas a investir continuamente em seus ativos – redes e instalações – para atender de forma eficiente à sociedade. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a presença de dependência espacial nos indicadores econômicos nos municípios de São Paulo. Foram aplicados os índices de Moran global e local em três variáveis – arrecadação, despesa e lucro –, retiradas do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) para o ano de 2020, usando o aplicativo ArcGIS 10.8. Os resultados mostraram baixa autocorrelação espacial, sendo o índice I global de Moran 0,141 para arrecadação 0,154 para despesa e 0,053 para lucro, apesar de todas as variáveis apresentarem um *p-valor* abaixo de 0,001. A maioria dos municípios paulistas não possuem dependência espacial quanto aos três indicadores analisados, porém é evidente a ocorrência deste fenômeno, para as variáveis de arrecadação e lucro, em grande parte dos municípios pertencentes à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), caracterizada por um agrupamento do tipo Alto-Alto, corroborando o fato que um aglomerado urbano influencia de forma positiva no desempenho financeiro de municípios populosos e contíguos. Assim, a análise exploratória de dados espaciais é essencial no processo de tomada de decisão para o planejamento e fiscalização do saneamento ambiental brasileiro.

**Palavras-chave:** Índice de Moran; Estatística Espacial; Geoprocessamento; Abastecimento; Esgotamento.

### 1 INTRODUÇÃO

Segundo Candido (2013), o saneamento básico é caracterizado pela provisão da infraestrutura necessária para o abastecimento de água e o recolhimento e tratamento de esgoto para a população, de forma que no fim da primeira década do século XXI, uma parcela significativa da população brasileira não possuía acesso aos serviços de água e esgoto, evidenciando os problemas de saúde pública do Brasil.

A despeito do acesso à água potável ser um direito humano fundamental, os investimentos no setor de saneamento básico são fundamentais para promover o desenvolvimento socioeconômico de um país, em especial o aporte de recursos na expansão dos ativos subterrâneos, isto é, redes subterrâneas e instalações (SCRIPTTORE; JUNIOR, 2012).

Todavia, ainda existe um extenso caminho para o Brasil atingir a universalização do saneamento básico, pois segundo os dados do Sistema Nacional de Informação Sobre o

Saneamento (IBGE, 2020), referentes ao ano de 2018, somente 61% da população brasileira tem seu esgoto coletado e 46% têm o esgoto tratado, a exemplificar a poluição dos afluentes do Rio Tietê no Estado de São Paulo.

Assim, objetivando a universalização até 2033, o governo federal instituiu a Lei 14.026 de 15 de julho de 2020, denominada “novo marco do saneamento”, que fomenta a regionalização dos serviços, com a participação do setor privado como opção para resguardar os investimentos necessários, assim como promover o agrupamento de municípios deficitários aos superavitários para garantir o equilíbrio financeiro (CRUZ, OLIVEIRA; 2019).

Porém, a privatização do saneamento básico é um assunto controverso, uma vez que na prática as empresas privadas tendem a operar exclusivamente nos municípios lucrativos, impedindo o aporte de recurso aos municípios menos favorecidos, isto é, inviabilizando o subsídio cruzado – recurso muito utilizado pelos órgãos públicos e sociedades de economia mista (FREITAS et al., 2011).

Segundo Chen (2013), o uso de geoprocessamento permite a identificação de padrões de dependência espacial para variáveis socioeconômicas, melhorando as propostas de planejamento e desenvolvimento ambiental. Uma técnica de estatística espacial muito utilizada para identificar autocorrelação é o Índice de Moran I global e local, de forma que a detectar agrupamentos (*clusters*) para diversos estudos (ANSELIN, 1995).

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a autocorrelação espacial de indicadores econômicos relacionados ao saneamento básico para os municípios do Estado de São Paulo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A área selecionada para o estudo foi o Estado de São Paulo, situado na Região Sudeste do Brasil, possuindo uma área de aproximada de 248,22 mil km<sup>2</sup>, com uma população de 46,6 milhões de habitantes distribuída em 645 municípios (SEADE, 2020). Seu clima é do tipo subtropical, tropical e tropical de altitude (DAEE, 2020), cujo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para 2017 era de 0,826 – classificado como muito alto – e sua renda per capita era para 2019 aproximadamente de R\$ 52 mil (IBGE, 2020).

Foram utilizados dois indicadores divulgados pelo SNIS (2020) referentes ao ano de 2020, os quais são:

- FN006 – Arrecadação total: valor anual efetivamente arrecado de todas as receitas operacionais. Unidade de medida: R\$/ano.
- FN017 – Despesa total com os serviços: valor anual referente a todos os custos da prestação de serviços. Unidade de medida: R\$/ano.

Uma terceira variável foi criada a partir da diferença destes dois indicadores, denominada Lucro, de forma que valores positivos correspondem à superávit e valores negativos correspondem à déficit.

Estas três variáveis foram tratadas com estatística descritiva (GINEVAN, 2004). Então, elas foram associadas ao arquivo vetorial dos municípios do Estado de São Paulo e foram computados o índice global de Moran (I) (Equação 1), conforme Almeida (2012).

$$I = \frac{n}{SO} \frac{z'Wz}{z'z} \text{ (Equação 1)}$$

Onde n mostra a quantidade de municípios, z representa os valores de cada variável do objeto de estudo, Wz são os valores médios de cada variável de interesse padronizada face aos vizinhos, de acordo com a matriz de ponderação espacial W. Para a matriz, foi usado o método Queen, sem padronização e com vizinhança de primeira ordem.

Depois foi calculado o índice local de Moran, considerando quatro grupos (quadrantes) com significância estatística – Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto –, proposto por Anselin (1995). Por fim, as variáveis e o índice local de Moran foram espacializados usando o software ArcGIS 10.8.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 645 municípios, 13 não possuíam informações, os quais foram retirados da análise, ressaltando-se que os dados divulgados pelo SNIS são auto declaratórios e não são auditados pelo Governo Federal, portanto pode ser passíveis de erros (FREITAS et al., 2018). A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das variáveis escolhidas.

Tabela 1 – Estatística descrita.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Obs.
Arrecadação	33.889.183,48	275.932.070,52	74.654,95	6.757.863.072,25	633
Despesa	30.985.217,06	238.737.074,31	210.094,22	5.841.352.936,60	633
Lucro	2.866.361,98	38.799.062,28	- 63.271.773,47	916.510.135,65	633

Fonte: Autoria própria.

Verificou-se que 44% dos municípios (278) são autossuficientes em faturamento, isto é, são superavitários e 56% (355) são deficitários, necessitando de subsídio cruzado para cobrirem suas despesas.

Os municípios com maior arrecadação são: São Paulo, Campinas, Guarulhos, São Bernardo do Campo e Ribeirão Preto. E esta ordem é a mesma para os que possuem maior despesa, somente São José dos Campos ficando na quinta posição.

Da mesma forma, notou-se que a maioria dos municípios superavitários pertencem a regiões metropolitanas, com destaque para o Vale do Ribeira que possui a maior aglomeração de municípios deficitários.

A Tabela 2 apresenta os resultados do índice global de Moran.

Tabela 2 – Teste de autocorrelação espacial – índice global de Moran.

Variável	Índice de Moran	Pseudo Significância
Arrecadação	0,1406	0,0001
Despesa	0,1539	0,0001
Lucro	0,0533	0,000001

Fonte: Autoria própria.

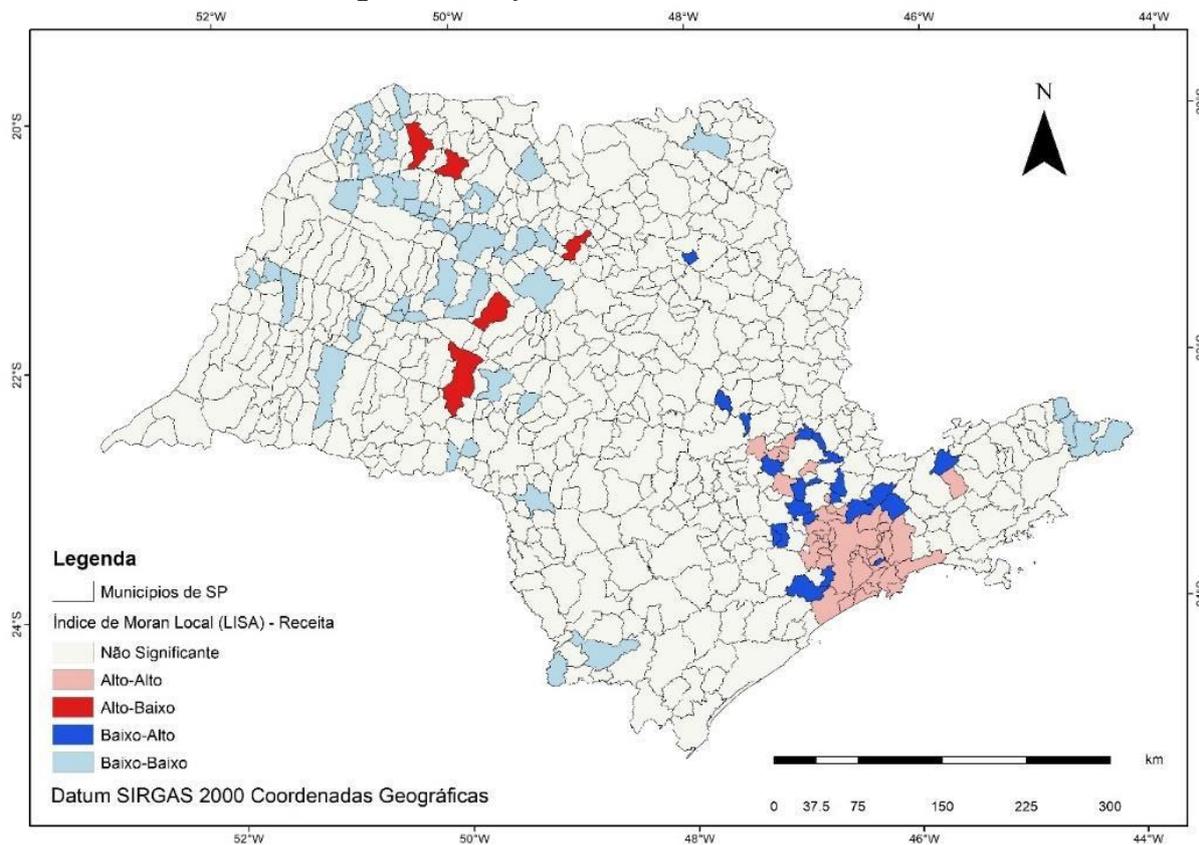
A Tabela 2 aponta que todas as variáveis possuem fraca dependência espacial, pois estão próximos de zero, contudo são significantes do ponto de vista estatístico, de forma que o I de Moran mais expressivo foi para a variável Despesa e o menor foi para o Lucro (ALMEIDA, 2012).

Cruz et al. (2021) aplicaram o índice global de Moran para todos os municípios do Brasil, a usar indicadores do SNIS obtendo os seguintes valores de autocorrelação espacial para 2018: 0,43 para atendimento urbano de água (IN023), 051 para atendimento urbano de esgoto

(IN024) e 0,43 para esgoto tratado (IN046) – todos com pseudo significância igual a 0,001.

A Figura 1 apresenta os resultados do índice local de Moran para a variável Receita. Analisando a Figura 1, observa-se que a dependência espacial de maior significância (Alto-Alto) ocorre na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), por conta da capital do estado, São Paulo, exercer influência sobre os demais municípios adjacentes, que são altamente populosos, refletindo a maior concentração de renda no Estado.

Figura 1 – Mapa de Moran Local – Receita.



Fonte: Autoria própria.

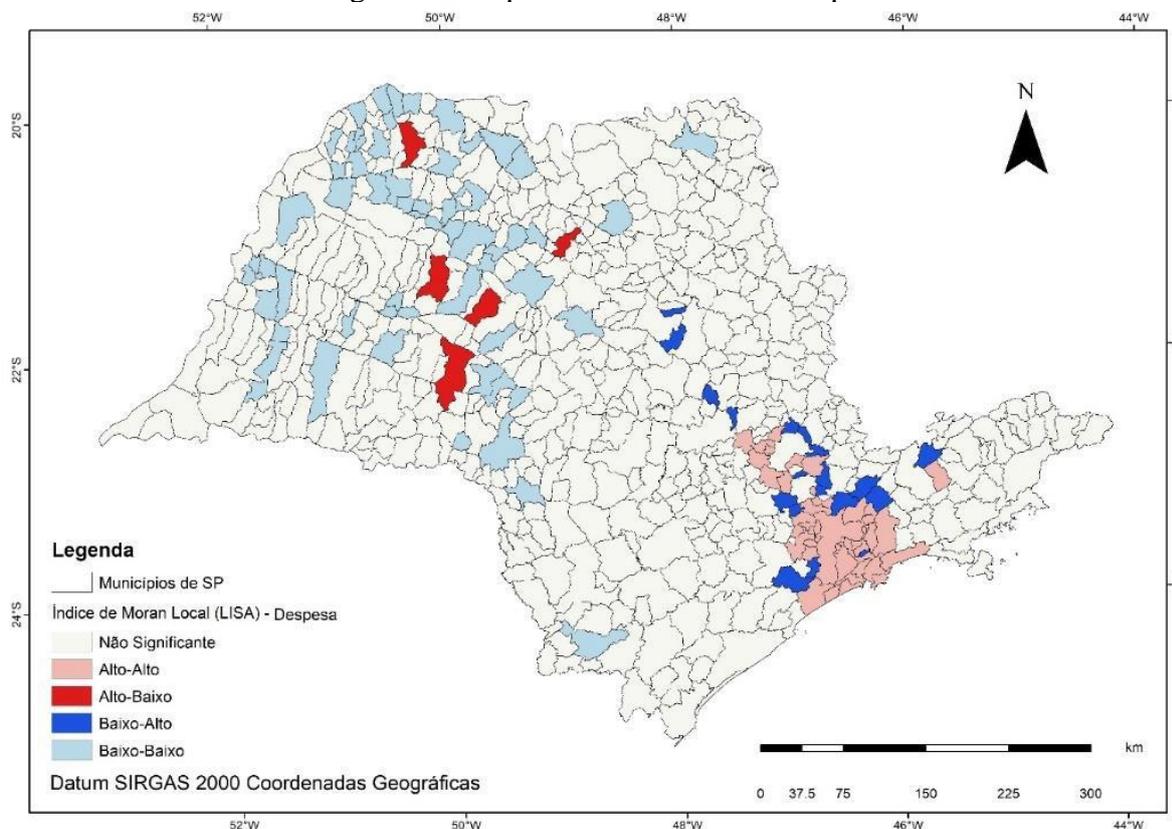
Verifica-se que quando este *cluster* é comparado a outros aglomerados urbanos, como por exemplo o Oeste Paulista, que possui uma arrecadação menor devido à baixa correlação espacial (Baixo-Baixo), o resultado pode ser explicado devido à baixa densidade demográfica da região atrelados a falta de infraestrutura pública e investimentos escassos. Algumas cidade pontuais do interior, apresentaram resultados positivos (Alto-Baixo), sendo elas: Marília, Lins, Catanduva, Votuporanga e Fernandópolis.

Entende-se que os municípios que não possuem significância estatística podem ser um obstáculo quanto à proposta de regionalização dos serviços de saneamento básico, já que a ausência de autocorrelação espacial não permite o agrupamento de cidades que apresentam propriedades similares, bloqueando a prática dos subsídios cruzados. Desta forma, devem ser testadas novos parâmetros nas análises exploratórias na tentativa de se obter o ajuntamento desejado (CÂMARA et al., 2004).

A Figura 2 apresenta os resultados do índice local de Moran para a variável Despesa. Analisando a Figura 2, observa que o mapa de despesas indica uma maior correlação entre os municípios da região metropolitana (Alto-Alto), em saldo positivo, pois são onde apresentam uma maior infraestrutura e o oeste do estado apresenta a correlação espacial (Baixo-Baixo), encontrando-se os menores valores de gastos, seja pela falta de infraestrutura ou pela baixa

densidade demográfica da região, em comparação com a população das regiões metropolitanas. Cidades pontuais apresentaram uma despesa maior (Alto-Baixo), que são: Marília, Lins, Penápolis, Catanduva e Fernandópolis.

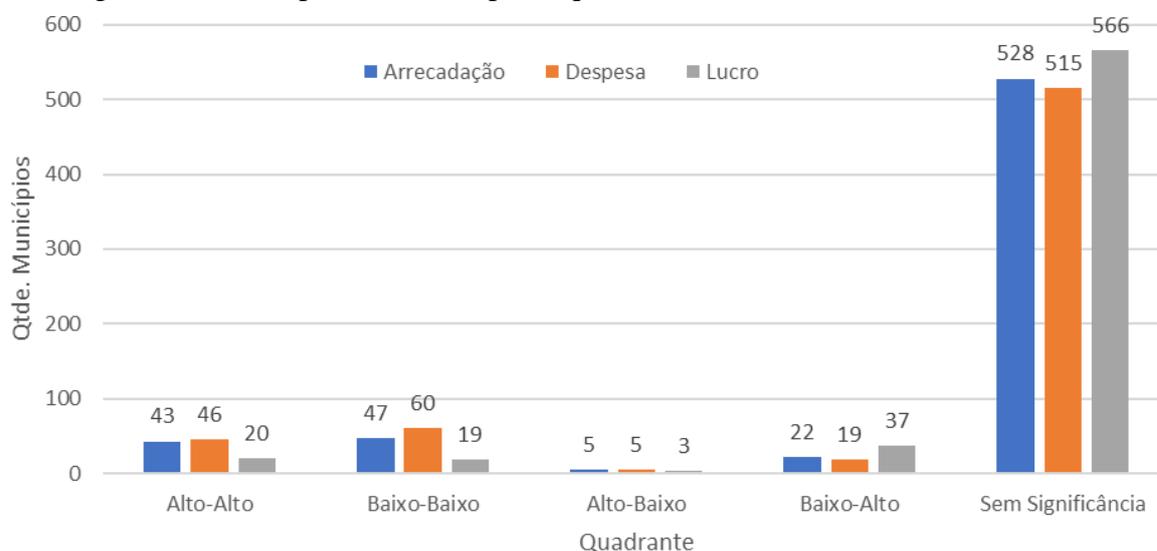
Figura 2 – Mapa de Moran Local – Despesa.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 3 apresenta o gráfico de quantidade de municípios separados pelos quadrantes do índice local de Moran, realçando a predominância de aleatoriedade espacial:

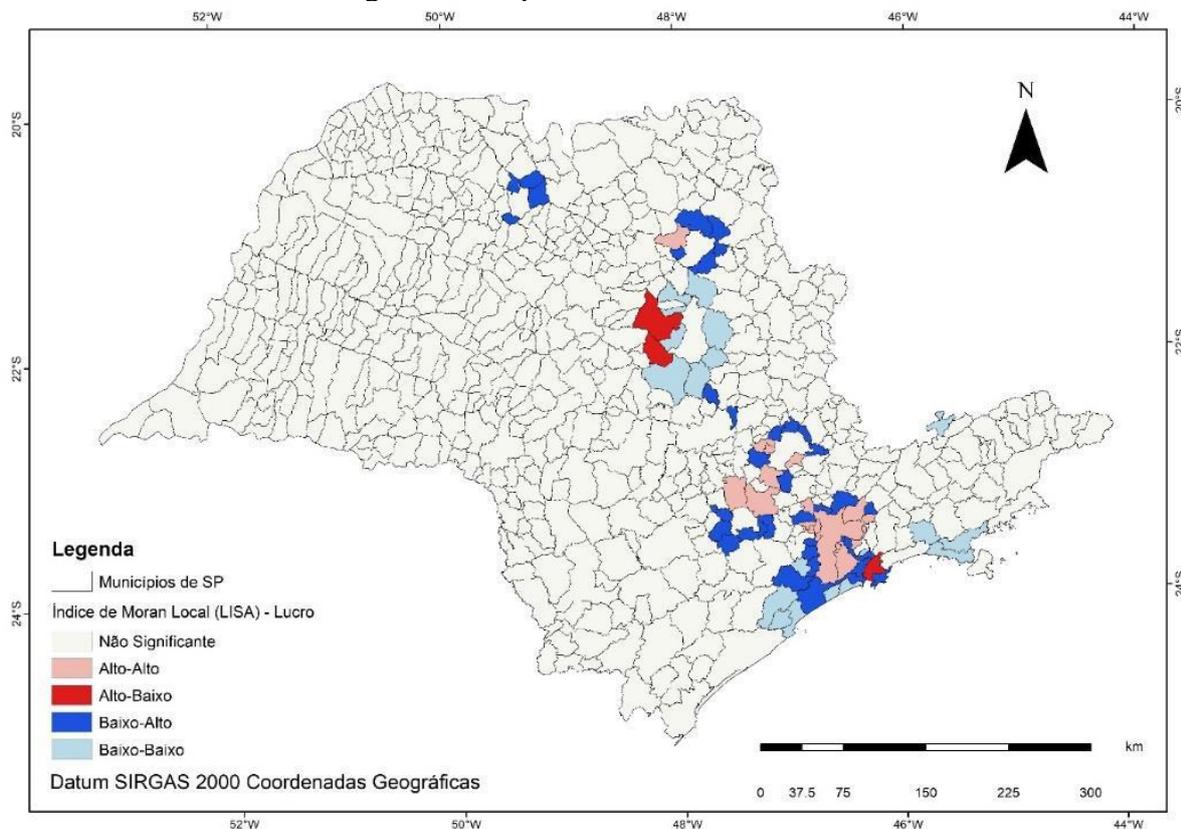
Figura 3 – Municípios divididos pelos quadrantes do índice local de Moran.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 4 apresenta os resultados do índice local de Moran para a variável Despesa.

Figura 4 – Mapa de Moran Local – Lucro.



Fonte: Autoria própria.

Observando-se a Figura 4, nota-se que as principais significâncias são apresentadas na região sudeste do Estado, cidades como São Paulo, São Bernardo do Campo, Itaquaquecetuba, Cajamar, Barueri Carapicuíba e Osasco, todas situadas na RMSP, apresentando resultado (Alto-Alto). No interior do estado, as cidades que apresentaram correlação espacial (Baixo-Baixo) são a maioria, destacando-se com saldo positivo apenas duas cidades: Ribeirão Bonito e Araraquara com resultados (Alto-Baixo). No interior do estado, apenas a cidade de Sertãozinho apresentou resultado positivo (Alto-Alto).

#### 4 CONCLUSÃO

Apesar de existir significância estatística para as variáveis de arrecadação, despesa e lucro, a autocorrelação espacial delas é baixa, podendo ser avaliadas por estatística tradicional na maioria dos casos.

Entretanto, foram identificadas dependência espacial para os três indicadores supracitados na maioria dos municípios pertencentes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), na forma do *cluster* Alto-Alto, corroborando que a proximidade pode influenciar de forma homogênea na dinâmica econômica das cidades que possuem características similares.

Considerando que o Brasil possui disparidades em relação aos atendimentos de abastecimento e esgotamento, é interessante usar a análise exploratória de dados espaciais como uma forma de subsídio ao planejamento das regionalizações do marco regulatório, de forma a otimizar a generalização financeiras dos blocos.

Por fim, recomenda-se a aplicação de outras técnicas de estatística espacial como, por exemplo, o índice I de Moran Bivariado, Krigagem ou Regressão Geograficamente Ponderada, associadas a outros limites administrativos de maior escala – como setores censitários – que permitam melhor análise sobre o comportamento regulatório e econômico do saneamento básico.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP. Alínea, 2012.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. **Geographical Analysis**, Ohio State University Press, v. 27, n. 2, p. 93-115, Apr. 1995. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.

CÂMARA, G. et al. Análise espacial de áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004.

CANDIDO, J. L. Falhas de mercado e regulamentação no saneamento básico. **Revista Eletrônica informe econômico**, Ano 1, n. 1, p.85- 89, ago. 2013.

CHEN, Y. New Approaches for Calculating Moran's Index of Spatial Autocorrelation. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7. 12 July 2013. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068336>.

CRUZ, F. P. et al. A Regionalização dos Serviços de Saneamento Básico e os Desafios da Universalização no Brasil: Uma Análise Exploratória de Dados Espaciais para os anos de 2010 e 2018. In: **Anais do 49 Encontro Nacional de Economia**. ANPEC, 2021.

CRUZ, F. P.; OLIVEIRA, B. F. Análise dos determinantes do consumo de água nos municípios brasileiros, 2010 A 2015. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, p. 57, 2020.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Hidrologia – Banco de Dados Hidrológicos**, 2020. Disponível em <<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>>. Acessado em 05 fev. 2022.

FREITAS, R. M. S. et al. **Medindo o saneamento: potencialidades e limitações dos bancos de dados brasileiros**. FGV-CERI (Fundação Getúlio Vargas - Centro de Educação em Regulação e Infraestrutura), 2018.

GINEVAN, M. E. **Estatísticas tools for environmental quality measurement**. USA: CRC Press, 2004, 239 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos municípios brasileiros: 2019**. 86p. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

SCRIPTORE, J. S.; JUNIOR, R. T. A estrutura de provisão dos serviços de saneamento básico no Brasil: uma análise comparativa do desempenho dos provedores públicos e privados. **Revista de Administração Pública (RAP)**. Rio de Janeiro, p. 1479-1504, nov./dez 2012.

SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Perfil dos Municípios Paulistas**, 2020. Disponível em <<https://perfil.seade.gov.br/>>. Acessado em 07 fev. 2022.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. **Série Histórica**. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020. Disponível em <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em 23 ago. 2022.