Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos
Associação dos Engenheiros da Sabesp

37ETC-07278

DESIGUALDADE TERRITORIAL NA COBERTURA DE SANEAMENTO BÁSICO: UMA ANÁLISE POR ECONOMETRIA ESPACIAL EM SETORES CENSITÁRIOS

Bruno Pereira Toniolo[1]
Roberto Wagner Lourenço e Rogério Inoue Ueda
[1] Universidade Estadual de São Paulo (Unesp Sorocaba)

CONTEXTO



O Brasil apresenta elevada cobertura média de saneamento, mas ainda existem **desigualdades territoriais significativas.**

Indicadores agregados podem ocultar déficits em áreas urbanas, mascarando realidades locais.

A análise em **escala intraurbana** permite identificar padrões de exclusão de forma mais precisa.

PROBLEMA

Os indicadores de cobertura de água e esgoto conseguem revelar as desigualdades territoriais em escala intraurbana?



HIPÓTESE



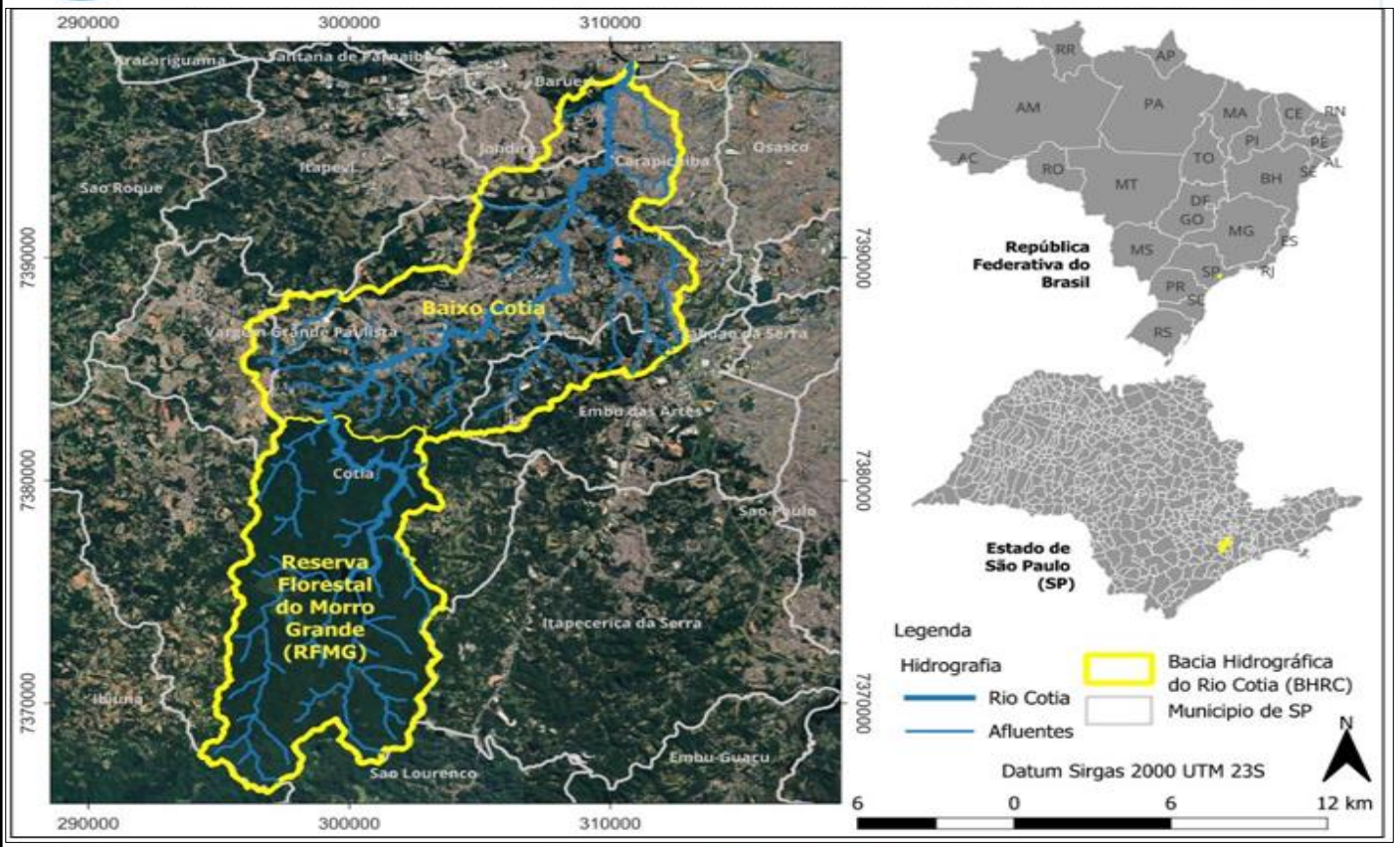
Os **indicadores percentuais de cobertura** de saneamento, quando analisados em **escala setorial** e por meio de **técnicas de análise espacial**, constituem instrumentos válidos para diagnóstico das desigualdades de saneamento, pois permitem identificar padrões territoriais estruturados.

OBJETIVO



Avaliar a **validade dos indicadores de cobertura de saneamento básico** como instrumentos de diagnóstico territorial em escala intraurbana, a partir da aplicação de técnicas de análise exploratória de dados espaciais e econometria espacial.

ÁREA DE ESTUDO



CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC)

Localização: porção oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)

Área total da BHRC

251,36 km²

DIVISÃO TERRITORIAL

Área urbanizada analisada

Baixo Cotia
(setores censitários situados na área urbanizada)

Municípios incluídos na área urbanizada

Cotia, Itapevi, Jandira, Barueri, Carapicuíba, Vargem Grande Paulista e São Paulo

DADOS UTILIZADOS

Setores censitários
(Censo Demográfico 2022)

1.097
setores analisados

População residente
(Censo 2022)

505.870
habitantes

Domicílios particulares
(Censo 2022)

156.039
unidades residenciais

Infraestrutura de saneamento

Dados de rede de água e rede de esgoto da Sabesp (2024)

Variáveis analisadas

- Índices de cobertura (ICA e ICE)
- Densidade domiciliar
- Extensão da rede de água
- Extensão da rede de esgoto
- Densidade das redes de água e esgoto

METODOLOGIA

A análise seguiu quatro etapas principais, combinando análise exploratória de dados espaciais e econometria espacial.

1 BASE DE DADOS

Integração de dados do Censo 2022 e de infraestrutura da Sabesp.

Censo Demográfico 2022 (setores censitários)
- Domicílios particulares
- População residente
- Cobertura de água e esgoto em nível de setor

Infraestrutura da Sabesp (2024)
- Rede de água
- Rede de esgoto

Dados espaciais
- Limites municipais e da BHRC
- Base cartográfica

2 VARIÁVEIS ANALISADAS

Indicadores de cobertura e variáveis explicativas em escala de setor censitário.

ICA (Índice de Cobertura de Água)
Percentual de domicílios atendidos por rede geral de água.

ICE (Índice de Cobertura de Esgoto)
Percentual de domicílios atendidos por rede geral de esgoto.

Variáveis explicativas

- **Densidade domiciliar (dom/km²)**
- **Densidade da rede de água (m/km²)**
- **Densidade demográfica (hab/km²)**
- **Densidade da rede de esgoto (m/km²)**

3 MODELAGEM ESPACIAL

Etapas realizadas para avaliar a validade dos indicadores e a presença de dependência espacial.

Análise exploratória espacial
- Mapas temáticos (ICA e ICE)
- Índice de Moran Global

Verifica a autocorrelação espacial entre setores censitários.

Modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS)
- Regressão linear clássica
- Avalia a relação entre os indicadores de cobertura e as sariáveis explicativas.

Análise dos resíduos
- Teste do Índice de Moran nos resíduos do OLS

Verifica se ainda existe autocorrelação espacial não explicada pelo modelo.

Modelo de Erro Espacial (SEM)
- Incorpora a dependência espacial presente nos erros do modelo
- Elimina a autocorrelação residual.

4 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Seleção do modelo e interpretação dos resultados com base em critérios estatísticos e espaciais.

Significância estatística dos coeficientes
(p-valor)

Coeficiente de determinação (R^2)
Capacidade explicativa do modelo.

Autocorrelação espacial dos resíduos
(Índice de Moran)

Critérios de qualidade do modelo
Coerência teórica e robustez dos resultados.

PRINCIPAIS TERMOS

Índice de Moran Global
Mede a autocorrelação espacial, indicando se valores semelhantes tendem a se concentrar no espaço.

OLS (Mínimos Quadrados Ordinários)
Regressão linear clássica que relaciona a variável dependente (ICA ou ICE) com as variáveis explicativas.

SEM (Modelo de Erro Espacial)
Modelo econométrico que incorpora a dependência espacial presente nos erros, eliminando a autocorrelação residual.

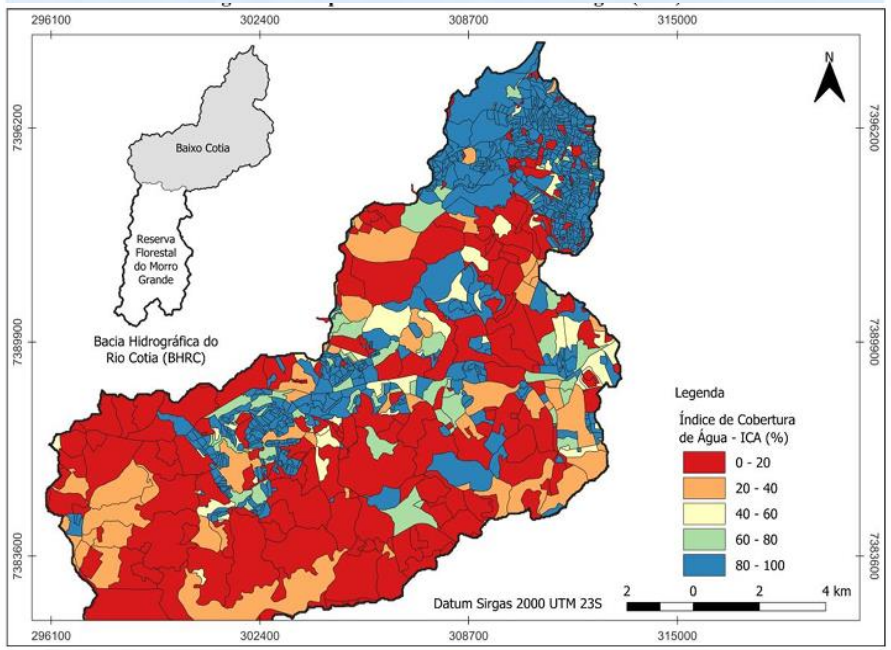
Autocorrelação espacial
Indica se valores de uma variável são mais semelhantes entre setores vizinhos do que seria esperado ao acaso.

ANÁLISE DA EVIDÊNCIA ESPACIAL

Distribuição territorial dos indicadores de cobertura e autocorrelação espacial.

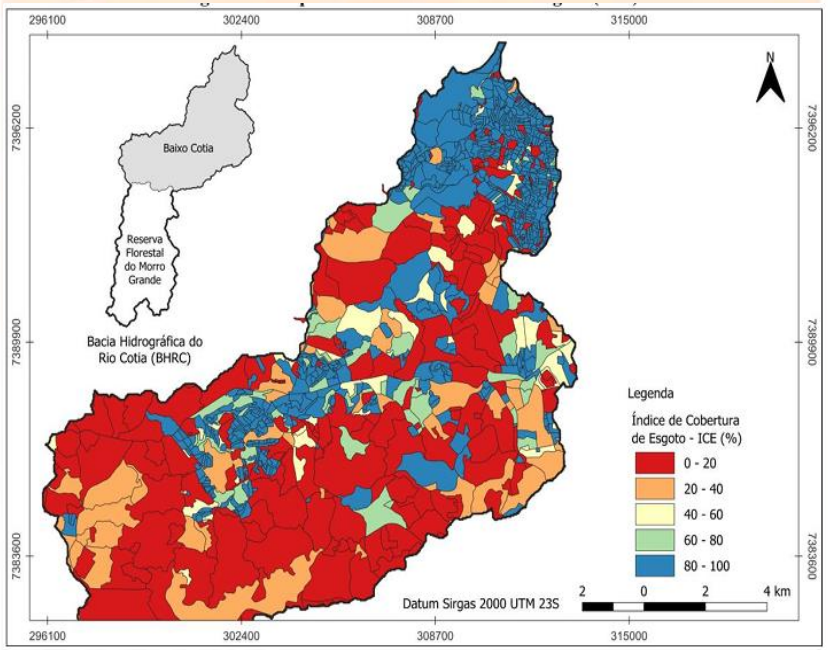
ICA – Índice de Cobertura de Água

Percentual de domicílios atendidos por rede geral de água em cada setor censitário (Censo 2022).



ICE – Índice de Cobertura de Esgoto

Percentual de domicílios atendidos por rede geral de esgoto em cada setor censitário (Censo 2022).



AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL (Índice de Moran Global)

O Índice de Moran Global mede se setores com valores semelhantes tendem a se concentrar no espaço (autocorrelação espacial).

ICA (Água)

I = 0,187

Autocorrelação espacial positiva

Indica padrões espaciais, mas com menor concentração.

ICE (Esgoto)

I = 0,454

Autocorrelação espacial positiva

Indica forte concentração espacial e maiores desigualdades territoriais.

PRINCIPAIS EVIDÊNCIAS

1 Cobertura de água mais homogênea

O ICA apresenta distribuição espacial mais uniforme na área de estudo.

2 Cobertura de esgoto mais desigual

O ICE apresenta áreas contínuas com baixa cobertura, mesmo em regiões com alta cobertura de água.

3 Maior estrutura espacial no esgoto

O valor do índice de Moran para o ICE (0,454) é significativamente maior que para o ICA (0,187).

4 Confirmação da hipótese

Os indicadores revelam padrões territoriais estruturados e são válidos para o diagnóstico em escala intraurbana.

MODELOS ECONOMÉTRICOS APLICADOS

Comparação entre Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) e Modelo de Erro Espacial (SEM) para os indicadores de cobertura de água (ICA) e esgoto (ICE).

ICA – Índice de Cobertura de Água

Modelo OLS foi suficiente, sem autocorrelação espacial nos resíduos.

Indicador	OLS (Mínimos Quadrados Ordinários)	SEM (Modelo de Erro Espacial)
R^2 (Capacidade explicativa)	0,46	–
Índice de Moran dos resíduos (I)	0,02	–

Diagnóstico espacial dos resíduos (OLS – ICA)



I = 0,02

Sem autocorrelação espacial significativa ($p > 0,05$)

ICE – Índice de Cobertura de Esgoto

Modelo OLS apresentou autocorrelação espacial nos resíduos, sendo necessário o SEM.

Indicador	OLS (Mínimos Quadrados Ordinários)	SEM (Modelo de Erro Espacial)
R^2 (Capacidade explicativa)	0,28	0,39
Índice de Moran dos resíduos (I)	0,22	–0,02
Lambda (λ) (Dependência espacial)	–	0,4865 ($p < 0,001$)

Resíduos do OLS (ICE)



I = 0,22

Autocorrelação espacial significativa ($p < 0,05$)

Resíduos do SEM (ICE)



I = –0,02

Sem autocorrelação espacial significativa ($p > 0,05$)

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

ICA – Água

- Maior capacidade explicativa ($R^2 = 0,46$).
- Resíduos sem autocorrelação espacial ($I = 0,02$).
- Modelo OLS adequado.

ICE – Esgoto

- Menor capacidade explicativa no OLS ($R^2 = 0,28$).
- Resíduos com autocorrelação espacial significativa ($I = 0,22$).
- Necessidade de modelo espacial.

SEM – Modelo de Erro Espacial

- Elimina a autocorrelação dos resíduos ($I = -0,02$).
- Aumenta a capacidade explicativa ($R^2 = 0,39$).
- Lambda ($\lambda = 0,4865$) significativo, indicando dependência espacial.

Conclusão parcial

O ICA pode ser analisado adequadamente com regressão OLS, enquanto o ICE exige modelagem espacial (SEM) devido à presença de dependência espacial nos erros.

PRINCIPAIS ACHADOS

Os indicadores de cobertura revelam padrões territoriais distintos para água e esgoto, com maior desigualdade espacial no esgotamento sanitário.

1 COBERTURA MÉDIA E VARIAÇÃO

O abastecimento de água apresenta cobertura mais elevada e menos variável que o esgotamento sanitário.

ICA (Água)

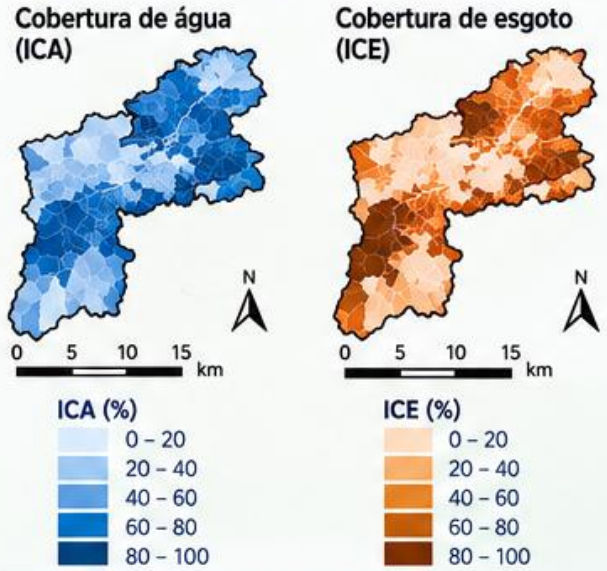
Média
86,19%
Mediana
100%
Amplitude entre setores
0% – 100%

ICE (Esgoto)

Média
67,94%
Mediana
93,29%
Amplitude entre setores
0% – 100%

2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

O esgotamento sanitário apresenta áreas contínuas de baixa cobertura, enquanto a água é mais homogênea.



3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL

Os dois indicadores apresentam autocorrelação espacial positiva, mais intensa para o esgoto.

ICA (Água)

I = 0,187
Autocorrelação espacial positiva (menor concentração)

ICE (Esgoto)

I = 0,454
Autocorrelação espacial positiva (maior concentração)

Valores significativos ($p < 0,05$), indicando que setores com valores semelhantes tendem a se agrupar no espaço.

4 CAPACIDADE EXPLICATIVA

O modelo apresenta maior capacidade explicativa para a água, enquanto o esgoto exige modelagem espacial.

ICA – Água

R^2 (OLS) **0,46**

ICE – Esgoto

R^2 (OLS) **0,28**
R^2 (SEM) **0,39**

O modelo de erro espacial (SEM) aumenta a capacidade explicativa do esgoto, incorporando a dependência espacial.

SÍNTESE DOS RESULTADOS

ÁGUA MAIS HOMOGÊNEA

1 O ICA apresenta maior cobertura média, menor variação entre setores e menor autocorrelação espacial, indicando distribuição territorial mais uniforme.

ESGOTO MAIS DESIGUAL

2 O ICE apresenta menor cobertura média, maior variação entre setores e forte autocorrelação espacial, com áreas contínuas de baixa cobertura.

IMPORTÂNCIA DA ABORDAGEM ESPACIAL

3 A presença de autocorrelação espacial nos resíduos do OLS para o ICE e o aumento do R^2 no SEM demonstram a necessidade de modelagem espacial para representar adequadamente a estrutura territorial do esgoto.

VALIDADE DOS INDICADORES

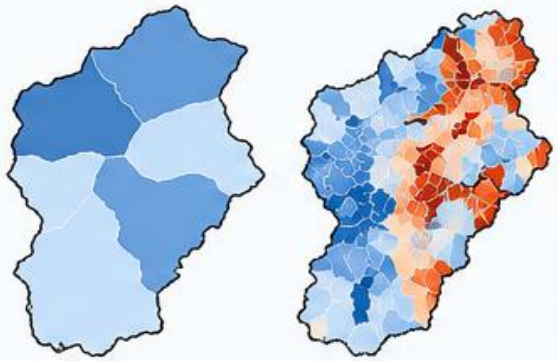
4 Os indicadores de cobertura de água e esgoto são válidos para o diagnóstico territorial, pois revelam padrões espaciais estruturados de desigualdade em escala intraurbana.

DISCUSSÕES

Interpretação dos resultados à luz da literatura e do contexto do saneamento.

1 LIMITAÇÕES DAS ANÁLISES AGREGADAS

Indicadores médios municipais podem ocultar desigualdades territoriais relevantes.



Visão municipal (média agregada)

Visão por setor censitário (desigualdades reveladas)

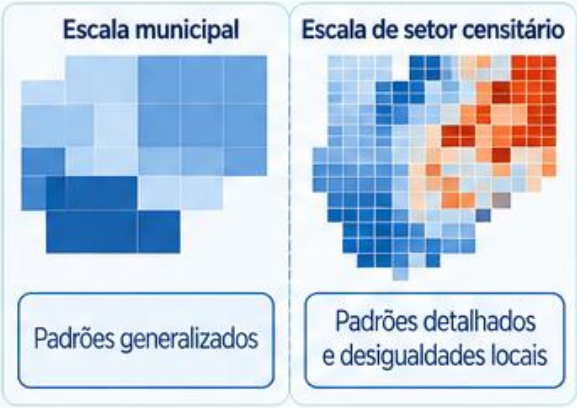
2 PADRÕES TERRITORIAIS ESTRUTURADOS

A presença de autocorrelação espacial indica a existência de padrões territoriais persistentes, relacionados a fatores urbanos e institucionais historicamente consolidados.



3 ESCALA DE ANÁLISE É DETERMINANTE

A análise em setores censitários permite identificar desigualdades intraurbanas que não são observadas em recortes administrativos amplos.



4 VALIDADE DOS INDICADORES (ICA E ICE)

Os indicadores são válidos para o diagnóstico territorial, mas sua interpretação deve incorporar a dimensão espacial, especialmente para o esgotamento sanitário.

ICA
(Índice de Cobertura de Água)

- Maior homogeneidade espacial.
- Modelo OLS suficiente.

ICE
(Índice de Cobertura de Esgoto)

- Maior desigualdade territorial.
- Necessidade de modelagem espacial (SEM).

CONCLUSÕES

Síntese dos achados e implicações para o planejamento e gestão do saneamento.

1 Indicadores válidos para diagnóstico territorial

ICA e ICE são instrumentos adequados para identificar padrões territoriais de cobertura de saneamento em escala intraurbana.

2 Esgotamento sanitário é mais desigual

O ICE apresenta maior autocorrelação espacial e áreas contínuas de baixa cobertura, evidenciando desigualdades territoriais persistentes.

3 Abordagem espacial essencial

A incorporação da dependência espacial (SEM) melhora a representação da estrutura territorial do esgotamento sanitário, eliminando a autocorrelação residual.

4 Relevância para políticas públicas

O uso de indicadores em escala desagregada contribui para o planejamento, a regulação e o monitoramento das metas de universalização do saneamento.

IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

- Identificação de áreas prioritárias para expansão da infraestrutura.
- Apoio à avaliação de políticas de saneamento.
- Contribuição para o cumprimento das metas de universalização até 2033 (Marco Legal do Saneamento).

Obrigado!

Bruno Pereira Toniolo

Bruperton.cad@gmail.com

11 9542-12126

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos
Associação dos Engenheiros da Sabesp

Coautores

Roberto Wagner Lourenço
roberto.lourenco@unesp.br

Rogério Inoue Ueda
rogerionk@yahoo.com.br