

Poluição Ambiental: uma análise espacial do tratamento de efluentes dos municípios brasileiros

Patricia Batistella

Doutoranda em Economia - PUCRS
e-mail: patriciabatistella16@gmail.com

Osmar Tomaz de Souza

Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia - PPGE
Escola de Negócios-PUCRS
e-mail: osmar.souza@pucls.br

Resumo: Manter equilibrada a relação entre o homem e a natureza, constitui um dos principais desafios da sociedade. A principal ação humana contra o meio ambiente se dá através da poluição, a qual acaba por prejudicar dois elementos essenciais para vida no planeta: o ar e os recursos hídricos. O descarregamento de efluentes não tratados corretamente traz prejuízos a qualidade dos recursos hídricos. Uma alternativa para evitar essa forma de poluição é desenvolver medidas que busquem expandir a coleta e tratamento adequado do esgotamento sanitário. Dessa forma, o estudo buscou avaliar se ocorre o efeito transbordamento da adoção de medidas que buscam melhorar a qualidade ambiental. A variável utilizada a fim de mensurar a adoção dessas medidas, será o índice de tratamento adequado do esgotamento sanitário – elaborado pelo Atlas Esgoto (2017) - para todos os municípios brasileiros. Além disso, foram avaliados aspectos socioeconômicos, demográficos e institucionais, com o objetivo de avaliar se eles contribuem para adoção de medidas em prol do meio ambiente. A metodologia utilizada foi a econometria espacial, já que esta incorpora os efeitos espaciais no processo de estimação dos modelos. Através da Análise Exploratória de dados Espaciais (AEDE) foi possível identificar diferentes formas de associação espacial entre os municípios brasileiros, no que diz respeito ao tratamento adequado dos seus efluentes. Os resultados do modelo econométrico espacial evidenciam que a participação feminina na administração municipal, gera efeitos positivos para adoção de políticas pró meio ambiente.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Esgotamento sanitário; Econometria Espacial.

Environmental Pollution: a spatial analysis of effluent treatment in Brazilian municipalities

Abstract: Keeping the relationship between man and nature balanced constitutes one of society's main challenges. Human's main activity against the environment is through pollution, which ends up harming two essential elements for life on the planet: air and water resources. Discharge of effluents that are not properly treated harms the quality of water resources. An alternative to avoid this sort of pollution is to develop measures that seek to expand the collection and proper treatment of sanitary sewage. Thus, this study sought to assess whether there is a spillover effect from the adoption of measures that seek to improve environmental quality. The variable used in order to gauge the adoption of these measures will be the adequate sewage treatment index – elaborated by Atlas Esgoto (2017) – for all Brazilian municipalities. In addition, socioeconomic, demographic and institutional aspects were evaluated, aiming to evaluate whether they contribute to the adoption of measures in favor of the environment. The methodology used was spatial econometrics, as it incorporates spatial effects in the model estimation process. Through the Exploratory Analysis of Spatial Data (AEDE) it was possible to identify different kinds of spatial association between Brazilian municipalities, with regard to the proper treatment of their effluents. The results of the spatial econometric model show that female participation in municipal administration generates positive effects for the adoption of pro-environmental policies.

Keywords: Effluent treatment; Sewage; Spatial Econometrics.

Área 4: Economia Agrária e Ambiental

Códigos JEL: Q53, Q56

Introdução

A intensificação das intervenções e atividades antrópicas tem modificado o ambiente e a relação do homem com a natureza. A busca por manter em equilíbrio essa relação vem sendo cada dia mais abordada, tanto no campo acadêmico, como também na agenda de políticas públicas. Diversas são as frentes que sustentam a ideia de que o modelo de crescimento atual, baseado na queima de combustíveis fósseis e tratamento inadequado dos recursos naturais merece ser revisto, de modo que alternativas com a finalidade de reduzir esses impactos possam implementadas, antes que seus efeitos não possam mais ser revertidos.

A poluição ambiental se dá tanto com introdução de substâncias poluentes na atmosfera como também no descarregamento de resíduos – provenientes de quaisquer atividades humanas ou produtivas - que quando não tratados devidamente, acabam por agredir o meio ambiente (ANA, 2017). Não obstante aos demais problemas ambientais, a preocupação com a qualidade e quantidade do fornecimento de recursos hídricos estão ganhando espaço. A busca centra-se em conciliar a oferta finita deste recurso, com a crescente pressão da demanda global – seja para a produção agrícola, industrial, comercial, ou para o atendimento das necessidades humanas (KONCAGÜL, E. et al, 2017).

A água é o pilar do desenvolvimento sustentável e das suas três dimensões - ambiental, econômica e social. Não é possível pensar em crescimento econômico, erradicação da pobreza e sustentabilidade ambiental, sem levar em consideração à necessidade dos recursos hídricos e os serviços a eles relacionados (PNUD, 2019).

O Brasil se configura como um dos países com a maior disponibilidade de água doce do mundo, possuindo cerca de 12 % do total global (ANA; PNUMA 2015). Mas esse fato não garante total conforto com relação a oferta desse recurso, pois ele não possui distribuição natural equilibrada. Cerca de 70% da água disponível no país, está localizada na região Norte, a qual, embora possua uma grande extensão territorial, abriga 8% apenas da população nacional. Por outro lado, regiões densamente populosas e economicamente desenvolvidas encaram problemas de escassez, como exemplo, as regiões Sudeste e Nordeste (ANA; PNUMA, 2013).

A descarga de efluentes domésticos se configura como um dos principais responsáveis por afetar a qualidade das águas superficiais. As atividades humanas, bem como os processos naturais, podem modificar as características físicas, químicas e biológicas da água, acarretando efeitos nocivos à saúde humana e ao ecossistema (CARR; NEARY, 2008). A busca pela prevenção da poluição constitui em reduzir ou eliminar os contaminantes diretamente na fonte, antes que possam poluir os recursos hídricos – esta opção, além de ser mais viável financeiramente, também é mais efetiva na proteção da qualidade da água (ANA; PNUMA, 2013)

A falta de coleta e tratamento não adequado de esgotos nas cidades brasileiras resulta em parcela significativa de carga poluidora, gerando implicações negativas aos usos diversos dos recursos hídricos (ATLAS ESGOTOS, 2017). Grande parte das águas residuais, oriundas de atividades humanas, retornam ao meio ambiente sem tratamento adequado, os poluentes que se infiltram nela durante o seu ciclo, não são removidos em sua totalidade.

No Brasil aproximadamente 27 % da população não possui coleta e nem tratamento adequado do seu esgotamento sanitário. Esse percentual é ainda mais preocupante ao olhar separadamente para as grandes regiões brasileiras. Nos estados do Norte esse percentual ultrapassa 50%, chegando a atingir 76% no estado de Rondônia (ATLAS ESGOTOS, 2017).

Como já indicado o tratamento não adequado do esgotamento sanitário acaba por incorrer em um grave problema ambiental: a poluição. A poluição da água, é considerada uma ameaça ambiental chave no desenvolvimento de países em desenvolvimento. Sendo que uma das principais fontes de poluição é a descarga de águas residuais não tratadas (MALIK et al., 2015).

Sabendo que o Brasil possui uma oferta desigual na oferta natural de recursos hídricos, essa relação é desigual também no que diz respeito ao tratamento do esgotamento sanitário. O não tratamento adequado acaba por repercutir em maiores níveis de poluição, principalmente dos recursos hídricos. Visto isso, a fim de verificar se adoções de boas políticas/medidas ambientais – neste caso, coleta e tratamento adequado do esgotamento sanitário - possuem efeito transbordamento entre os municípios brasileiros. Ou seja, se por um município aderir uma medida de tratamento de efluentes, isso repercute aos municípios que o circundam

Por se tratar de um estudo empírico de análise de dados secundários, utiliza-se como ferramenta a econometria espacial. A qual, diferentemente da econometria tradicional, possibilita que aspectos espaciais sejam considerados. Além disso, demais variáveis foram respeitadas, a fim de identificar se existe nexo entre condições socioeconômicas, demográficas e institucionais com a poluição do meio ambiente. De modo a avaliar isso, foram incluídas como variáveis independentes: PIB *per capita*, Índice de Gini, densidade demográfica, educação, proporção de mulheres na administração pública municipal e se o prestador de serviços de esgotamento é realizado por empresa pública ou não.

O estudo está dividido em mais cinco seções além dessa introdução: referencial bibliográfico; apresentação das variáveis e modelo empírico; aspectos metodológicos; resultados e discussão e por fim as principais conclusões.

2 – Referencial Bibliográfico

Por muito tempo o pensamento econômico, mais precisamente o pensamento neoclássico, considerava a economia apenas como sendo alocação de recursos escassos (ROMEIRO, 2013). No entanto, ao tratar basicamente a economia como alocadora de recursos e regulamentada pelo mercado, deixa-se de lado as bases materiais sobre as quais são sustentados os modelos de produção, ou seja, os recursos naturais além dos resíduos gerados por esses processos.

A pressão sob o *mainstream economic* sobre a necessidade de incorporação dos recursos naturais nas análises econômicas, resultaram no surgimento da economia ambiental no século XX. Desde então, diversos modelos analíticos e teóricos têm buscado discutir a relevância, dos recursos ambientais para realização dos processos produtivos e da manutenção da vida na terra (MARQUES, SILVA E MATA, 2019). Por muito tempo, o meio ambiente era visto apenas como fornecedor de matéria-prima e receptor de resíduos gerados pelas atividades humanas, esquecendo do seu papel imprescindível para a sobrevivência da humanidade (DE LIMA, 2017)

Os problemas ambientais são caracterizados, no campo da economia ambiental, como uma falha de mercado, podendo assumir diversas dimensões. Seus efeitos podem repercutir tanto local como globalmente. Além do mais, esses impactos poderão ser sentidos ao longo do tempo, sendo prejudiciais até mesmo para gerações futuras. A poluição ambiental é uma das principais externalidades geradas em decorrência de ações humanas, sejam elas advindas do efeito residual dos processos produtivos, como até mesmo dos resíduos domésticos (MARQUES, SILVA E MATA, 2019).

Nesse aspecto a poluição dos recursos hídricos constitui um problema ambiental abrangendo diversas dimensões, pois além desse recurso ser essencial a vida no planeta, ele constitui um elemento chave do processo de desenvolvimento econômico. De modo que, diversos processos produtivos são altamente demandantes de recursos hídricos– geração de energia, produção agrícola, industrial. O relatório PNUD (2016), indica que mais de 80 % das águas residuais, geradas por atividades humanas são descarregadas no meio ambiente sem a devida remoção dos poluentes.

Uma das principais medidas envidadas com a finalidade de evitar a poluição dos recursos hídricos é o tratamento adequado das águas residuais. Diversos estudos empíricos buscam identificar quais seriam os possíveis fatores, que contribuem em alguma medida para melhorias no processo de tratamento dos resíduos.

Massoud et al. (2009), destacam que embora, de forma geral, tenha ocorrido um uma melhora significativa no tratamento de águas residuais, principalmente em áreas urbanas ainda é necessário que mais investimentos sejam direcionados para que toda geração de água residual tenha seu devido tratamento. Além disso, os mesmos autores detalham que a falta de recursos direcionados a pesquisa e desenvolvimento, nos países em desenvolvimento, acaba por selecionar tecnologias inadequadas em termos das condições que esses países possuem – climáticas, físicas, recursos financeiro, humanos e aceitação social ou cultural.

O tratamento de águas residuais foi utilizado como medida para explicar o desempenho ambiental dos municípios mexicanos. Hecker, Wätzold e Markwardt (2020), através do ferramental econométrico espacial buscaram investigar a ocorrência ou não, do efeito transbordamento da implementação de amplo tratamento das águas residuais ocorria entre os municípios do país. Além do mais, os autores utilizaram

algumas variáveis explicativas – PIB *per capita*, Índice de Gini, taxa de urbanização, participação de mulheres na administração pública, situação da prestação do serviço -a fim de identificar se elas contribuem ou não para a implementação da política de tratamento.

Dessa forma, ao investigar a poluição ambiental se faz necessário levar em consideração aspectos, econômicos, sociais, demográficos, institucionais e geográficos. Alguns estudos já estão trilhando esse caminho, grande parte deles, que buscaram avaliar a qualidade ambiental, trouxeram evidências de que as concentrações de poluentes estão intimamente relacionadas à renda média (AUFFHAMMER et al., 2008). Os estudos de Bo (2011) e Dinda (2004), também evidenciam que existe uma relação positiva entre PIB per capita e esforços para melhorar a qualidade ambiental.

A densidade populacional é uma variável comumente utilizada como variável de controle em estudos que buscam avaliar aspectos ambientais Auffhammer et al. (2008). Porém, os efeitos totais da densidade populacional podem assumir um caráter ambíguo. Enquanto de um lado, maior densidade populacional implica em maior grau de urbanização e industrialização; a qualidade do ar, bem como de demais recursos naturais pode ser afetada negativamente. Mas ao mesmo tempo, uma elevada densidade populacional gera benefícios, do ponto de vista do uso intensivo de energia, que poderá reduzir as emissões totais de poluentes e, assim ser benéfico para o meio ambiente (COSTANTINI; MONNI, 2008).

Além disso, o papel das instituições e dimensões do desenvolvimento humano, tem sido apontado como aspectos fundamentais para trilhar o desenvolvimento sustentável. Com essa perspectiva Costantini e Monni (2008) analisaram as relações causais entre crescimento econômico, desenvolvimento humano e sustentabilidade, através dos modelos teóricos Hipótese da Maldição dos Recursos naturais e Curva Ambiental de Kuznets – com uma perspectiva de desenvolvimento humano. Os resultados evidenciam a relevância da boa qualidade institucional e investimentos para a acumulação de capital humano, a fim de construir um caminho de em direção ao progresso sustentável.

O capital humano, observado principalmente como níveis de educação, também vem sendo incorporado nesse debate. Diversos estudos encontram uma associação entre os níveis de ensino superior e a preocupação com o meio ambiente Blomquist e Whitehead, (1998) e Torgler e García-Valiñas (2007). Os indivíduos, com maior nível de instrução, estão mais expostos a informações sobre o risco de poluição para a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, esses indivíduos mais instruídos podem também acabar por pressionar ainda mais os formuladores de políticas para que implementem políticas com a finalidade de melhorar a qualidade ambiental.

Além de todos esses aspectos e dimensões já destacadas, as questões de gênero têm sido incorporadas ao debate. No estudo de Sundström e McCRight (2013) levantam a hipótese de que a maior participação das mulheres na política acaba por favorecer o estabelecimento de medidas e políticas mais amigáveis ao meio ambiente.

3 – Modelo Empírico e variáveis

Como já observado a questão ambiental envolve um grande aparato de fatores e aspectos que devem ser considerados. O estudo busca incluir tais dimensões através de uma análise empírica, utilizando o ferramental econométrico espacial a fim de observar as relações entre as variáveis elencadas, com atendimento de tratamento das águas residuais nos municípios brasileiros.

A variável dependente Índice de tratamento, representa o atendimento adequando com relação a população, no tratamento do esgotamento sanitário dos municípios brasileiros. O tratamento considerado adequado é aquele coletado e tratado, como também a existência de fossa séptica, que seria solução individual. De acordo com o Atlas Esgotos (2017), 55% da população brasileira possui o esgotamento considerado adequado. As variáveis bem como sua descrição e fontes estão apresentadas no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Apresentação e descrição das variáveis

Variável	Descrição	Ano	Sinal esperado	Fonte dos Dados
INDITRA	Índice atendimento adequado do esgotamento sanitário	2013	Variável Dependente	Atlas Esgotos
<i>ln</i> PIBPERCA	Logaritmo natural Produto Interno Bruto <i>per capita</i> , a preços correntes (R\$ 1,00)	2010	+	IBGE
<i>INDICEGINI</i>	Mensura o grau de desigualdade de renda dos indivíduos segundo a renda domiciliar <i>per capita</i> . Assume valor zero quando não há desigualdade e tende a um a medida que a desigualdade aumenta	2010	+	Atlas do Desen. Humano
DENSIDEM	Densidade demográfica da unidade territorial (habitante por quilômetro quadrado)	2010	+	SIDRA- IBGE
IDHMEDU	É obtido através da média geométrica do subíndice de frequência de crianças e jovens à escola, com peso de 2/3, e do subíndice de escolaridade da população adulta, com peso de 1/3.	2010	+	Atlas do Desen. Humano
PARTMULHE	Proporção de mulheres que fazem parte da administração municipal - dirigentes da administração pública e membros do poder executivo e legislativo; dirigentes superiores da administração pública;	2010	+	SIDRA- IBGE
PRESTDR	Criação Empresa Pública – Variável <i>dummy</i> : caso o município criou empresa pública assume valor 1, do contrário 0	2013	+	Atlas do Esgoto

Fonte: elaborado pela autora.

*A base de dados compreende 5568 municípios, foram retirados da amostra Fernando de Noronha (PE) e Ilha Bela (SP).

A definição empírica do modelo a ser estimado segue a representação da Equação (1)

$$INDITRATA_i = \beta_0 + \beta_1 \ln PIBper\ capt a_i + \beta_2 INDIGINI_i + \beta_3 DENSIDEM_i + \beta_4 IDHM_i + \beta_5 PARTMULHER_i + \beta_6 PRESTDR_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que: $INDITRATA_i$ é a variável dependente ao índice de atendimento de tratamento do esgoto sanitário; β_0 corresponde ao intercepto, e os restantes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$, e β_6 representam os coeficientes a serem estimados das variáveis independentes. O termo i , representa os municípios; ε_i , corresponde aos componentes dos erros aleatórios.

4 Metodologia

4.1 Análise exploratória de dados espaciais

A econometria espacial busca em si, trazer à tona, a influência dos fatores geográficos e de localização espacial nos fenômenos econômicos e sociais. Dessa maneira, o incremento das ferramentas de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), constitui um passo a ser realizado a priori, ou seja, antes de proceder a estimação do modelo econométrico. Este procedimento inicial, contribuir para obtenção de uma análise estatística sofisticada.

A AEDE constitui um conjunto de técnicas que tem por finalidade identificar e descrever distribuições espaciais. Visa detectar a existência ou não de localizações espaciais atípicas, *outliers*, padrões de associação espacial, a formação de *clusters* ou demais formas de heterogeneidade espacial (BAUMONT; ERTUR; LE GALLO, 2000). Sucintamente, a AEDE, contribui para identificar a existência ou não de dependência espacial.

O primeiro passo a ser realizado em um estudo no qual se utiliza da AEDE, é testar a hipótese de que os dados são distribuídos aleatoriamente, contra a hipótese de existência de associação espacial. Tal hipótese é testada através das estatísticas de autocorrelação espacial (ALMEIDA, 2012).

A definição da matriz de pesos espaciais (W), constitui a primeira etapa da AEDE. A matriz (W) é responsável por apresentar os arranjos espaciais das interações resultantes do fenômeno que está sendo estudado (ANSELIN, 1996). Ela contém a informação do quanto a interação é mais forte no caso das regiões mais próximas geograficamente e o quanto se torna menos interativa na medida em que se torna mais distantes – fazendo jus a primeira lei da Geografia¹. Ao ser definida a matriz busca capturar toda a autocorrelação espacial presente no fenômeno estudado, ela assume a forma de uma matriz quadrada e os pesos espaciais W_{ij} representam a influência do município j sobre o município i . Assim, por convenção W_{ii} é igual a zero, ou seja, as diagonais principais dessa matriz assumem valor zero (ALMEIDA, 2012).

São várias as formas que uma matriz de pesos espaciais poderá tomar, as mais utilizadas são baseadas na proximidade, as quais assumem ideia, especialmente de fronteira física, sendo elas: rainha, bispo, torre – com movimentos similares ao jogo de xadrez -, e k vizinhos mais próximos. Além disso, as matrizes podem considerar em sua construção algum conceito socioeconômico ou qualquer outro conceito importante para análise do fenômeno que está sendo estudado (ANSELIN, 1996; ALMEIDA, 2012). O critério de definição para escolha é baseado no maior I de Moran significativo.

A autocorrelação espacial global pode ser definida como a coincidência de similaridade de valor com similaridade locacional. Dessa forma, não haverá autocorrelação espacial positiva quando altos ou baixos valores de uma variável aleatória aglomeram-se no espaço, e não há autocorrelação espacial negativa quando áreas geográficas tendem a ser cercadas por vizinhos com valores muito diferentes (BAUMONT; ERTUR; LE GALLO, 2000).

A estatística de autocorrelação espacial é resultante da composição de três elementos: uma medida de autocovariância, uma medida de variância dos dados e da matriz de ponderação espacial (W). As principais medidas adotadas na literatura, para obtenção das medidas de autocovariância são a estatística I de Moran, estatística de c de Geary e estatística G de Getis-Ord (ANSELIN, 1995; ALMEIDA, 2012).

A estatística I de Moran foi desenvolvida por Moran em (1948), e é comumente a mais utilizada. Moran (1948) construiu um coeficiente de autocorrelação espacial, utilizando a medida de autocovariância na forma de produto cruzado. Matricialmente a estatística é dada por:

$$I = \frac{n}{S_o} \frac{Z'WZ}{Z'Z} \quad (2)$$

Em que, n é o número de regiões, Z denota os valores da variável de interesse padronizada, W_Z representa os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, os quais são definidos por uma matriz de ponderação espacial W . S_o representa a operação $\sum_i \sum_j W_{ij}$, indicando que todos os elementos da matriz de pesos espaciais W devem ser somados. O termo do numerador $Z'W_Z$, é a autocovariância espacial, composta pelos seus produtos cruzados. A estatística I de Moran, de acordo com Almeida (2012), é uma espécie de coeficiente de autocorrelação, sendo a relação da autocovariância do tipo produto cruzado pela variância dos dados ($Z'Z$).

Os valores do I de Moran superiores a $-1/[1/(n-1)]$ indicam que há autocorrelação espacial positiva, ou seja, altos valores em uma determinada região são incorporados por vizinhos com características semelhantes. O índice menor que o valor crítico sugere que existe autocorrelação espacial negativa, ou seja, altos valores estão localizados perto de valores baixos, ou vice-versa (ALMEIDA, 2012).

O diagrama de dispersão de Moran é dividido em quatro quadrantes, sendo eles Baixo-Baixo, Alto-Baixo, Baixo-Alto e Alto-Alto. Com ele é possível identificar o padrão de associação local espacial entre os municípios e os seus vizinhos (ALMEIDA, 2012). Além disso, a reta de inclinação pode ser traçada, o que tornará mais fácil a identificação da existência de possíveis *outliers* e de como os mesmos influenciam no valor do I de Moran.

¹ Lei de Tobler.

Além das estatísticas globais já apresentadas, também é interessante avaliar os indicadores de autocorrelação espacial local. Apesar de existir mais do que uma opção para detectar esses padrões, o trabalho utiliza-se da estatística I de Moran local.

Anselin (1995;1996) propõe um indicador com a capacidade de capturar padrões locais de autocorrelação espacial estatisticamente significativos, denominando-os de *Local Indicator of Spatial Association* (LISA). Tal estatística calcula um I_i para cada observação. Assim, tem-se n computações da estatística I_i juntamente com seus níveis de significância. Entretanto, como são obtidas inúmeras informações, uma para cada observação, a melhor maneira encontrada para apresentá-las é mapear o conjunto de estatísticas que são obtidas através do mapa de significância LISA.

O indicador I Moran local pode ser visualizado de três maneiras. Através do diagrama de dispersão de Moran e também por meio de mapas de significância LISA e de *Clusters* LISA. O mapa de significância LISA apresenta apenas as observações que foram significativas de acordo com o seu valor de probabilidade. Já o mapa *Clusters* LISA combina as informações do diagrama de dispersão de Moran e do mapa de significância das medidas de associação local.

4.2 Modelo Econométrico Espacial

A econometria espacial é um ferramental econômico considerado jovem – um pouco mais de quarenta anos - frente a econometria tradicional. Foi no discurso realizado por Jean Paelinck em 1974, no encontro da Associação de estatística Holandesa, que essa disciplina passa a ser incorporada como disciplina (ARBIA, 2016). Os modelos econométricos tradicionais são caracterizados por não incorporar o efeito do espaço em seus parâmetros, conforme demonstrado na Equação 3:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3)$$

Em que, \mathbf{y} é um vetor n por 1 das observações da variável dependente, \mathbf{X} é uma matriz n por k das variáveis explicativas exógenas, $\boldsymbol{\beta}$ é o coeficiente de regressão e $\boldsymbol{\varepsilon}$ é um vetor $nx1$ de termos de erro aleatórios identicamente e independentemente distribuídos (i.i.d.). De modo que se o fenômeno que está sendo testado possuir, em seu contexto teórico e empírico algum padrão espacial, o melhor método a ser utilizado é aquele que possibilite que tais efeitos possam ser capturados.

No entanto, se observada a dependência espacial, o modelo de MQO passa a ser viesado, sendo ideal a utilização de um modelo considere os efeitos dessa autocorrelação espacial. Entre os principais modelos, a dependência espacial pode estar no termo de erro (SEM) ou na variável dependente (SAR) (LEESAGE; PACE, 2009). Esses modelos, econométricos-espaciais além de outros², são reconhecidos por abrigar a dependência espacial, a qual possui um alcance global, pois a influência do multiplicador espacial faz com que o impacto na variável dependente transborde para as demais regiões (ALMEIDA, 2012). As Equações 3 e representam os modelos SAR e SEM, respectivamente.

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W}\mathbf{y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (4)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\xi} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\xi} = \lambda \mathbf{W} \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad |\lambda| < 1 \quad (5.1)$$

Em que, ρ é o coeficiente de defasagem espacial – deve estar situado no intervalo aberto -1 e 1 ($|\rho| < 1$); $\mathbf{W}\mathbf{y}$ é um vetor de defasagens espaciais na variável dependente ($nx1$); λ é o parâmetro do erro autorregressivo espacial, que acompanha a defasagem $\mathbf{W}\boldsymbol{\xi}$ (dependência espacial no termo de erro); $\boldsymbol{\xi}$ erro espacial autorregressivo de primeira ordem; e o $\boldsymbol{\varepsilon}$ é o termo de erro (ALMEIDA, 2012).

² Para consultar outras formas de modelos espaciais busque em Anselin (2006) e Almeida (2012).

Além dos modelos de alcance global alguns conseguem alcançar tantos efeitos globais como também efeitos localizados, um exemplo é o Modelo de Durbin espacial ou SDM (sigla inglês de Spatial Durbin Model) ou também conhecido como Durbin-SAR. O Durbin-SAR, é caracterizado por incorporar tanto o efeito transbordamento por meio da defasagem das variáveis exógenas, ou seja as variáveis explicativas também incluem a média dessas variáveis nos municípios vizinhos. De modo que, também é identificada a existência de um processo de transbordamento por meio da variável endógena. Dessa maneira, é necessário que seja incluída na especificação a defasagem espacial da variável dependente (LESAGE, 2008).

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W}\mathbf{y} + \mathbf{X}\beta + \theta \mathbf{W}\mathbf{X} + \varepsilon \quad (6)$$

onde \mathbf{y} é a variável dependente, ρ denota o coeficiente de autocorrelação espacial, \mathbf{W} representa matriz de peso espacial não negativa, \mathbf{X} representa as variáveis independentes, β e θ são os coeficientes regressivos espaciais. $\mathbf{W}\mathbf{y}$ e $\mathbf{W}\mathbf{X}$ denotam os termos de defasagem espacial de variável dependente e variável independente, o que nos permite analisar os efeitos de *spillover* de variáveis independentes (LEESAGE, 2008; BIN; SHUSHENG, 2017).

Primeiramente, estima-se o modelo via o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) a fim de identificar qual a melhor maneira de estimar a Equação 1 e obter resultados precisos. Florax, Folmer e Rey (2003) especificam, de forma resumida, os procedimentos necessários, estabelecendo alguns passos: i) estimar o modelo por MQO; ii) testar a hipótese de não dependência espacial por meio do multiplicador de Lagrange por defasagem ($ML\rho$) e o multiplicador de Lagrange por erro ($ML\lambda$); iii) se ambos ($ML\rho$ e $ML\lambda$) são não significativos, MQO será o modelo melhor especificado; iv) se ambos ($ML\rho$ e $ML\lambda$) são significativos, deverá ser estimado o que apresentou maior significância estatística.

4.3 Procedimentos

A fim de verificar a autocorrelação espacial dos resíduos da regressão é utilizado o teste I de Moran. A estatística contempla a soma dos produtos cruzados dos resíduos para as regiões vizinhas (ALMEIDA, 2012). A hipótese nula a ser testada é a de que os resíduos da regressão estimada por MQO são distribuídos aleatoriamente ao longo no espaço. Para que os resíduos estejam autocorrelacionados e a técnica econométrica espacial se faça necessária, a hipótese nula deve ser rejeitada. Segundo Anselin (2005), três testes básicos devem ser utilizados para analisar a consistência dos parâmetros gerados. Sendo eles: de multicolinearidade, de normalidade dos resíduos (Jaque-Bera) e de heterocedasticidade (Breusch-Pagan, Koenker-Bassett e White).

O teste de Multicolinearidade não é estático, valores inferiores a 30 podem ser considerados apropriados ao modelo (ALMEIDA, 2012). O teste Jaque-Bera para verificar a normalidade dos resíduos possui a seguinte definição:

H_0 : A distribuição é normal;

Caso a hipótese nula do teste seja rejeitada, há a evidência da distribuição dos resíduos não seguir distribuição normal. Para os testes de heterocedasticidade, a hipótese a ser testada é:

H_0 : Variância constante, homocedasticidade;

Caso a hipótese nula for rejeitada identifica-se que há heterocedasticidade no modelo. Nos casos em que os resíduos não são normais e o modelo apresenta heterocedasticidade, existe alguns métodos robustos a tais problemas como por exemplo, o método dos Mínimos Quadrados Generalizados em dois estágios.

5 Resultados e Discussão

5.1 Resultados da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

A AEDE constitui um passo importante na análise de dados espaciais, pois através desse ferramental é possível detectar a presença de *outliers* globais e espaciais³ e pontos de alavancagem. A identificação desses diferentes padrões nas observações contribui para uma melhor estimação dos modelos econométricos.

As principais técnicas utilizadas na AEDE são a autocorrelação local e global, nos contextos univariado e bivariado. Nesse trabalho, as duas técnicas serão utilizadas para avaliar o transbordamento do índice de tratamento adequado do esgotamento sanitários dos municípios brasileiros.

Um procedimento importante na AEDE diz respeito a seleção da matriz de pesos espaciais (W). Para que a escolha da mesma não seja realizada de forma arbitrária, seguiu-se a proposta de Baumont et al. (2003). De acordo com autor, a matriz selecionada é aquela que tem o maior valor da estatística I de Moran. Para tanto, são testadas as matrizes: *queen* (rainha), *rook* (torre) e de k vizinhos mais próximos. Seguindo esse procedimento, identifica-se que a matriz que capta maior dependência espacial para a variável analisada é a matriz tipo *queen* (rainha), de primeira ordem. A Tabela 1 traz os resultados obtidos com as diferentes matrizes de pesos espaciais.

Tabela 1 - I de Moran univariado para o índice de tratamento de esgotamento sanitários nos municípios brasileiros

Convenção	INDICETRATA
<i>Queen</i> (rainha)	0,631738*
<i>Rook</i> (torre)	0,631106*
Vizinhos mais próximos $k=4$	$-7.304e^{-5}$ *

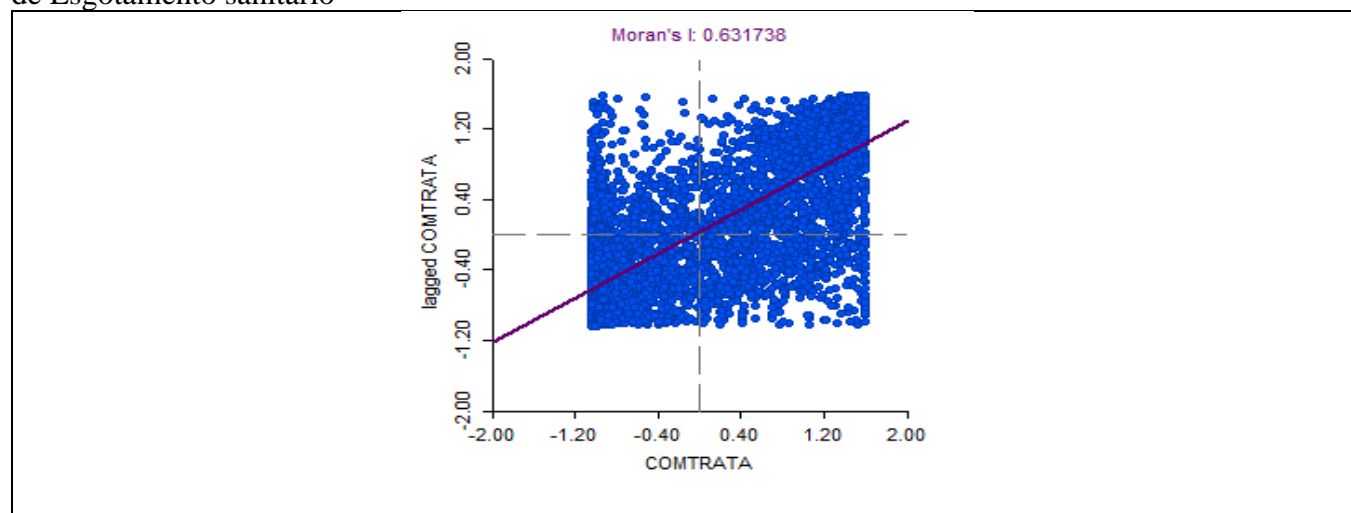
Fonte: Elaborada com resultados da pesquisa através do Software GeoDa (versão 1.8.16.4).

Obs: pelocritério de 999 permutações.

*p-value < 0,01, **p-value < 0,05, ***p-value < 0,1

Outra maneira de visualização da estatística I de Moran é através do diagrama de dispersão.

Figura 1 - Diagrama de dispersão de Moran global univariado para o Índice de Tratamento de tratamento de Esgotamento sanitário



Fonte: Elaborada com resultados da pesquisa através do Software GeoDa (versão 1.8.16.4).

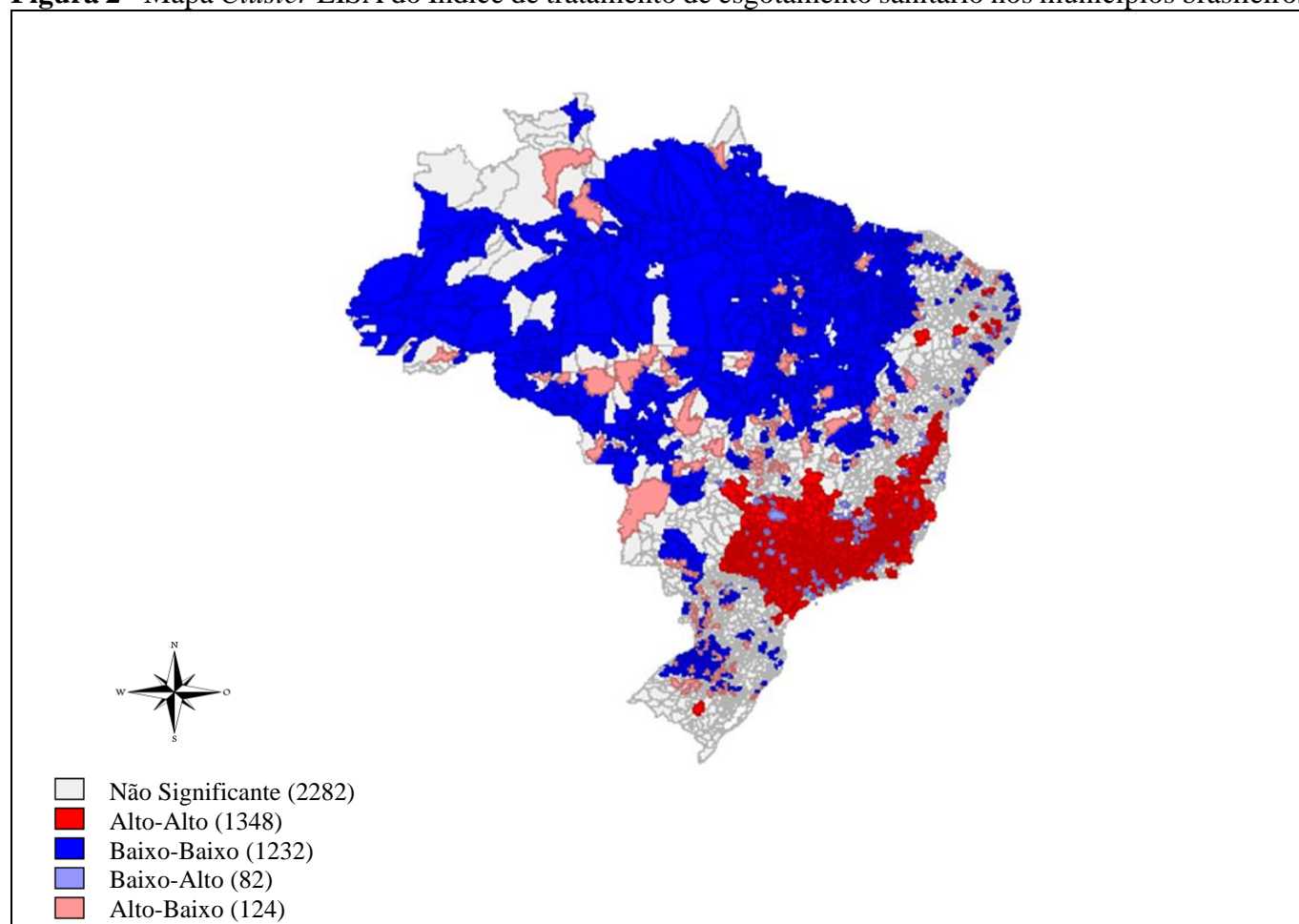
Obs: Estatística I de Moran calculada com a matriz *queen* pelo critério de 999 permutações.

³*Outliers* são observações que não seguem o mesmo padrão da maioria dos dados. No caso da econometria espacial eles assumem duas formas: global e espacial. Os *outliers* globais são observações que fogem do comportamento das demais, tanto para cima quanto para baixo. Enquanto os *outliers* espaciais são observações que possuem uma dependência espacial distinta do restante das observações vizinhas.

A estatística I de Moran apresentou um valor positivo (0,631738) e significativo ao nível de 1% de confiança. Dessa forma, é possível inferir que os municípios brasileiros que possuem um elevado índice de tratamento adequado de esgotamento sanitário, possuem estados vizinhos com a mesma característica. Ou seja, são autocorrelacionados espacialmente e positivamente. De modo que, a análise para um baixo nível de tratamento de esgotamento também exhibe a mesma dependência espacial. No entanto municípios com baixos índices, são vizinhos de municípios que também apresentam baixo tratamento adequado.

Vala ressaltar que, esse resultado compreende apenas a etapa de análise global da AEDE, a qual possibilita a visualização do fenômeno apenas no âmbito geral, não podendo observar as especificidades mais locais. A fim de detectar a autocorrelação local, são calculadas as estatísticas de I de Moran local para a variável supracitada. A apresentação dos resultados é dada em forma de mapa *cluster* LISA, conforme a Figura 2. O mapa de agrupamentos LISA combina as informações do diagrama de dispersão de Moran e a significância dos grupos locais de I .

Figura 2 - Mapa *Cluster* LISA do Índice de tratamento de esgotamento sanitário nos municípios brasileiros



Fonte: Elaborada com resultados da pesquisa através do Software GeoDa (versão 1.8.16.4).

Na Figura 2 tem-se a distribuição espacial da estatística I de Moran local, do índice de tratamento de esgotamento sanitários para os municípios brasileiros. Os municípios destacados com vermelho intenso, são os enquadrados no padrão espacial Alto-Alto (AA), ou seja, municípios que possuem um elevado tratamento dos efluentes possui vizinhos como a mesma característica. Como é possível perceber, os municípios que compõem este *cluster* são das regiões Sudeste, Centro-Oeste e a região mais ao Sul do Nordeste. Indicando que ocorre o efeito transbordamento de boas medidas ambientais, no caso a medida seria atender grande parte da população com tratamento de esgoto adequado.

No que diz respeito aos municípios enquadrados como Baixo-Baixo (BB) – cor azul intensa- estão na maior parte localizados na região Norte do país. Possuindo também formações de *clusters*, com este mesmo padrão nas regiões Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul e região Centro-Oeste. Ao assumirem tal padrão espacial, evidenciam que a relação de dependência espacial entre eles, se dá por apresentarem características de baixo desempenho no tratamento do esgotamento sanitário. Evidenciando que municípios que não adotam medidas adequadas de cuidados ambientais, são contíguos de municípios que também não possuem tal preocupação no tocante a medidas ambientais.

Com relação aos demais padrões espaciais, Baixo-Alto e Alto-Baixo o enquadramento dos municípios foi muito menor. Tal resultado evidencia ainda mais o efeito transbordamento das medidas/políticas ambientais, já que a maioria das formações se deram se forma positiva – ou seja, indicando que os municípios são influenciados por medidas adotadas pelos seus vizinhos.

5.2 Resultados dos modelos econométricos espaciais

Após avaliar se o tratamento de efluentes, neste trabalho considerado como uma medida ambiental correta, possuiu ou não dependência espacial, seguimos para a estimação dos modelos econométricos a fim de verificar a relação entre a variável dependente – tratamento adequando de esgotamento sanitário – com aspectos demográficos, socioeconômicos e institucionais.

Para tanto, conforme já destacado na seção metodológica, a estimação dos modelos econométricos espaciais requer que alguns procedimentos sejam seguidos. Inicialmente definimos a matriz de pesos espaciais, através da análise do *I* de Moran, novamente a matriz que apresentou a melhor estatística foi a matriz *queen* (rainha) de primeira ordem. Em seguida, segue a estimação do modelo por MQO (Mínimos Quadrados Ordinários). Caso a hipótese de aleatoriedade seja rejeitada, segue-se a estimação dos modelos espaciais

A identificação do processo espacial pelo qual o fenômeno analisado está autocorrelacionado espacialmente, seja pela defasagem da variável dependente ou pela dependência espacial na forma residual, se dá através dos testes focados do tipo Multiplicador de Lagrange.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados dos modelos estimados, por MQO, SEM, SAR, Durbin-Sar (SDM). Ela traz os coeficientes, a probabilidade (*p*- valor) e as estatísticas dos testes.

Tabela 2 - Resultados da estimação dos modelos por, MQO, SEM, SAR e Durbin-Sar

	MQO	SEM*	SAR*	Durbin-Sar*
Variáveis				
Variável dependente:	INDITRAT	INDITRAT	INDITRAT	INDTRAT
Constante	17,9816 (0,00084)	-27,680072 (0,000046)	-19,809 (0,00032)	44,07342599 (9,734e ⁻⁷)
ρ	- - -	- - 0,76467 (0,00000)	0,728589 (0,00000)	0,74453 (2,25e ⁻¹⁶)
λ			-	
INDGINI	-94,6013 (0,00000)	-6,14176 (0,2826)	-4,52342 (0,36217)	-4,44591 (0,4454)
DENSIDEMO	0,00260774 (0,00185)	0,00317410 (0,000063)	0,001491 (0,01071)	0,003386 (5,680e ⁻⁵)
IDHMEDU	90,517 (0,00000)	60,578500 (0,00000)	45,2158 (0,0000)	54,2383 (2,2e ⁻¹⁶)
PARTICIMULHER	0,016003 (0,29228)	0,015352 (0,1231)	0,0093945 (0,37017)	0,018684 (0,07189)
PRESTADOR	13,4183 (0,00000)	12,67314 (0,00000)	9,81305 (0,00000)	12,59641 (2,2e ⁻¹⁶)
LNPIBPERCAPITA	1,117701 (0,13408)	2,926627 (0,000074)	0,0731899 (0,88814)	2,59207 (0,000496)
W- INDGINI	-	-	-	-60,00939 (5,242e ⁻⁵)

W- DENSIDEMO	-	-	-	-0,002201 (0,09155)
W- IDHMEDU	-	-	-	-32,68144 (0,00074)
W- PARTICIMULHER	-	-	-	0,00803196 (0,73589)
W- PRESTADOR	-	-	-	-9,94762 ($2,2e^{-16}$)
W LNPIBPERCAPITA	-	-	-	-4,403670 ($8,025e^{-5}$)
AIC	55237,0	51768,54	51895,31	51709,33
I de Moran	71,8108 (0,00000)	-	-	
R-quadrado	0,227532	0,617309	0,598712	0,60645
ML – SAR	4901,4354 (0,00000)	-	-	
MLR – SAR	77,4525 (0,00000)	-	-	
ML – Erro	5130,6486 (0,0000)	-	-	
MLR – Erro	307,0983 (0,00000)	-	-	
ML SARMA	5208,1371 (0,0000)	-	-	

Fonte: elaborado com dados da pesquisa.

*modelos estimados pelo método de máxima verossimilhança.

Ao observar os resultados contidos na Tabela 2, é possível constatar a existência de autocorrelação espacial nos resíduos da regressão estimada via MQO, ao analisar a estatística *I* de Moran, já que a mesma rejeita a hipótese nula de independência espacial/aleatoriedade. Já observada a presença da dependência espacial, seguiu-se com as estimações dos modelos espaciais.

Após observar o *I* de Moran, são avaliados os testes de multiplicador de Lagrange (ML), os quais indicam qual o melhor modelo a ser estimado. Tanto o ML quanto o ML Robusto foram significativos para todos, os modelos o SAR e SEM foram estimados. O modelo SEM é caracterizado por estimar o escalar λ , responsável por indicar a intensidade da autocorrelação espacial entre os resíduos da equação observada. Colocando de outro modo, esse parâmetro mensura o efeito médio dos erros dos vizinhos em relação ao resíduo da região em questão.

Já o modelo espacial SAR estima ρ que corresponde ao parâmetro autorregressivo, esse parâmetro possui como interpretação o efeito médio da variável dependente relativo à vizinhança. O operador de defasagem espacial será omitido caso $\rho = 0$.

Ambos os parâmetros foram significativos portanto seguindo LeSage e Pace (2009), optou-se por estimar o modelo espacial Durbin-SAR, pois de acordo com esses autores esse modelo possui vantagem, pelo fato de o mesmo gerar estimativas não viesadas em comparação aos modelos com defasagem espacial da variável dependente e do erro, como acontece com o SAC.

A estimação do modelo Durbin-SAR também se encontra na Tabela 2. Seguindo os demais procedimentos, passam a ser avaliados os diagnósticos como critério AIC, novamente o Durbin-SAR segue como sendo o melhor indicado, já que quanto menor for valor de AIC, melhor é o ajuste do modelo aos dados. No entanto os testes estatísticos indicados por Anselin (2008) apontaram os problemas de não normalidade dos resíduos e de heterocedasticidade, como é possível identificar através dos testes (Jarque-Bera e Breusch-Pagan), na Tabela 3.

Tabela 3 – Testes para os modelos estimados

Testes	MQO	SEM	SAR	Durbin-SAR
Teste Breusch-Pagan	215,2892 (0,00000)	72,0860 (0,00000)	60,7115 (0,0000)	131,07 (0,0000)
Teste Jarque-Bera	300,3676 (0,0000)	83,467 (0,0000)	55,194 (0,0000)	71,772 (0,0000)
Multicolinearidade	43,667	-	-	-

Fonte: elaborado com dados da pesquisa.

O modelo Durbin-SAR, contém em sua especificação a defasagem espacial da variável dependente (Wy), além disso, as defasagens espaciais das variáveis explicativas (WX) – representadas na Tabela 2 coluna 1 com W e sua respectiva denominação. Como é possível observar nos parâmetros da estimação do modelo, na coluna 5 (Tabela 2), apenas a variável Índice de Gini e a defasagem espacial de Participação das Mulheres, não foram significativas.

No entanto pelo fato do modelo apresentar problemas de heterocedasticidade e não normalidade dos resíduos, seguiu-se com a estimação do modelo espacial por Mínimos Quadrados em dois estágios, o qual é robusto para o problema de heterocedasticidade.

Tabela 5 – Resultado do Modelo estimado por Mínimos Quadrados Generalizados em dois estágios

Variáveis	MG dos dois Estágios
Intercepto	-7,45965817 (0,164218)
ρ	0,61284587 ($2,2e^{-16}$)
λ	0,74821191 ($2,2e^{-16}$) (0,95199)
INDGINI	-12,511032 (0,04002)
DENSIDEMO	0,001297 (0,00142)
IDHMEDU	40,6920 ($2,2e^{-16}$)
PARTICIMULHER	0,021995 (0,030978)
PRESTADOR	8,054714 ($2,2e^{-16}$)
LNPIBPERCAPITA	-0,52235473 (0,32971)

Fonte: elaborado com dados da pesquisa.

Da mesma forma que nos modelos SAR e SEM, os parâmetros autorregressivos ρ e λ , foram significativos a 1% e apresentaram valores diferentes de zero. Indicando novamente que o fenômeno em questão possui dependência espacial.

Quanto às variáveis independentes exibem resultados distintos em termos de magnitude e significância. As variáveis de controle demográfico socioeconômico e institucional, nem todas apresentam os sinais esperados. A expectativa com relação a variável índice de Gini era de que mesma apresenta-se sinal positivo, pois de acordo Hecker, Wätzold e Markwardt (2020), eles constatam em seu estudo, que existe uma preferência com relação a qualidade ambiental em aumentar conforme o aumento da renda, sugerindo que a parte mais rica da população exerceria um certo poder político, forçando os formuladores de políticas a aumentar a qualidade ambiental. No entanto no presente estudo a variável não apresentou sinal positivo, indicando que no caso dos municípios brasileiros essa hipótese não é confirmada, além do mais a variável PIB não foi significativa.

A variável Densidade populacional apresentou relação positiva e significativa, indicando que densidades populacionais mais altas contribuem para o aumento no índice de tratamento adequado de esgotamento sanitário. Conforme colocado por Auffhammer et al. (2008), essa variável pode assumir efeitos controversos, já que um aumento populacional implica em maior geração de resíduos. Mas ao mesmo tempo uma maior densidade pode contribuir para o uso intensivo desses recursos, já que uma estação de tratamento de esgoto, como por exemplo, pode atender inúmeras famílias.

O IDHM, variável empregada com a finalidade de avaliar o impacto dos níveis educacionais em melhorias na qualidade ambiental, apresentou estimativa positiva e significativa dos parâmetros (40,6920) confirmando a hipótese de que pessoas com maior instrução acabam por exigir melhor desempenho ambiental.

Além das variáveis socioeconômicas e demográficas, foram incluídas também duas variáveis com o intuito de avaliar o aspecto institucional no tratamento adequado do esgotamento sanitário: prestador de serviços e participação das mulheres na administração pública. De forma que, o parâmetro positivo e significativo da variável *dummy* - existência ou não de uma empresa pública de tratamento de águas residuais nos municípios- indica que a corporativização do serviço municipal de abastecimento de água e saneamento, não ficando a cargo exclusivamente da prefeitura municipal melhora o índice de tratamento águas residuais nos municípios brasileiros.

A participação feminina na administração municipal, foi estatisticamente significativa aos níveis convencionais (5%). Permitindo através dessa descoberta empírica, concluir que maior participação feminina na administração pública municipal, contribuir para que maiores esforços sejam envidados na busca da redução da poluição ambiental, corroborando com os estudos de Sundström e McCRight (2013).

6 Conclusões

O estudo buscou trazer uma melhor compreensão acerca da poluição ambiental, mais especificamente, com relação a poluição dos recursos hídricos, que é em grande medida afetada pelo não tratamento adequado das águas residuais. No Brasil a falta de tratamento de esgoto adequado atinge mais de 27 % da população. Esse problema, além de ser prejudicial ao meio ambiente, acaba por deixar a população mais expostas a doenças.

Levantada tal preocupação, o estudo teve como propósito investigar se a adoção de políticas pró meio ambiente são correlacionas espacialmente, ou seja, se um município ao buscar implantar uma medida dessas será impulsionada pela adoção em municípios próximos. A variável utilizada para buscar mensurar esse aspecto foi o índice adequado de tratamento de esgotamento sanitário nos municípios brasileiros. Para que o efeito do espaço pudesse ser considerado, foi utilizado como aparato metodológico a econometria espacial. Variáveis de controle também foram incluídas, a fim de identificar se existe relação com a preocupação ambiental e fatores demográficos, econômicos e institucionais.

Com os resultados obtidos na análise exploratória de dados espaciais (AEDE), possibilitou a identificação de padrões espaciais distintos entre os municípios brasileiros, no que diz respeito ao tratamento adequado de esgoto. Um padrão espacial do tipo Alto-Alto, foi identificado, com maior participação de municípios das regiões Sudeste e Centro-Oeste. Enquanto na região Norte do país, a formação de *clusters* se deu mais no padrão Baixo-Baixo. Tal resultado implica que municípios que detêm um maior nível de atendimento adequado de seus efluentes, possuem municípios com as mesmas características. O mesmo é verdadeiro para situação de baixo índice de tratamento adequado. Esses diferentes padrões indicam a existência de dependência espacial, sendo que a adoção de uma boa política ambiental poderá repercutir para os municípios contíguos, do mesmo modo que a não adoção acaba por não pressionar os vizinhos próximos a adotarem uma medida ambiental.

A análise dos modelos econométricos espaciais trouxe resultados satisfatórios, embora algumas variáveis empregadas não tenham apresentado significância estatística, as demais evidenciaram relações muito importantes. Principalmente, as que buscaram relacionar aspectos institucionais. A variável participação feminina da administração pública municipal, foi significativa e apresentou o sinal esperado, ou seja, o aumento da participação feminina contribui para adoção de medidas que buscam a qualidade ambiental.

Por fim, o trabalho constitui um campo vasto ainda a ser explorado, para estudos futuros, são indicadas a inclusão de mais variáveis de controle, bem como uma análise de dados em painel, para que se tenha um panorama ampliado dessa questão. Além disso, é importante destacar que, como os próprios resultados indicam, um caminho para o melhor atendimento no tratamento de esgotamento sanitários, deverá incluir diversos aspectos, sociais, econômicos, demográficos, institucionais e acima de tudo considerar o espaço.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA); Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA). Cuidando das Águas soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. 2. ed. -- Brasília: ANA, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno. 2017. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 3 jul. 2020.

ALMEIDA, E. S. **Econometria Espacial Aplicada**. 1. Ed. Campinas: Editora Alínea, 498 p. 2012.

ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with GeoDa**. A Work Book. Spatial Analysis Laboratory, University of Illinois. **Center for Spatially Integrated Social Science**, 2005.

ANSELIN, Luc. Spatial effects in econometric practice in environmental and resource economics. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 83, n. 3, p. 705-710, 2001. Disponível em: < https://www.jstor.org/stable/1245103?seq=1#metadata_info_tab_contents>. Acesso em: 4 jul 2020.

ANSELIN, L. O gráfico de dispersão de Moran como uma ferramenta da ESDA para avaliar a instabilidade local na associação espacial. Cap. 8. **Spatial Analytical** , v. 4, p. 121, 1996.

ANSELIN, L. Indicadores locais de associação espacial - LISA. **Análise geográfica** , v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.

ARBIA, G. Econometria espacial: uma disciplina em rápida evolução. 2016. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2225-1146/4/1/18/htm>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL (ATLAS BRASIL). Busca. **Indicadores**. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em: 28 jun 2020.

ATLAS DO ESGOTO. Despoluição de bacias hidrográficas. **Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de**, 2017. Disponível em: < http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf>. Acesso em: 26 jun 2020.

AUFFHAMMER M.; CARSON, RT. Previsão do caminho de CO2 da China emissões com Base em informações de nível de província. **J. Environ. Econ. Manag.** 55 (3). 2008, pp. 229 – 247. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906006021>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BAUMONT, C.; ERTUR C.; LE GALLO, J. 2000. Geographic spillover and growth: a spatial econometric analysis for European regions. **LATEC-Document de travail, Economie**. 7. URL: <http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/2307/LATEC-DT_00-07.pdf?sequence=1>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BAUMONT, C.; ERTUR, C.; LE GALLO, J. Spatial convergence clubs and the European regional growth process, 1980–1995. In: **European regional growth**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 131-158, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-07136-6_5>. Acesso em: 9 maio 2017

BIN, L; SHUSHEG, W. Efeitos da regulamentação ambiental local e civil na produtividade total de fatores verdes na China: uma análise econométrica espacial de Durbin. **Journal of Cleaner Production** , v. 153, p. 342-353, 2017. Disponível em:<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616316407>> Acesso em: 3 jul. 2020.

BLOMQUIST, G.C; WHITEHEAD, J.C. Informações sobre a qualidade dos recursos e validade da disposição de pagar na avaliação contingente

BO, S. Uma pesquisa bibliográfica sobre a curva de Kuznets ambiental. **Energy Procedia** **5**, 1322–1325. **Recurso. Energy Econ.** 20 (2).1998. , p. 179 – 196. Disponível em:<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915001998>. Acesso em: 1 jul.2020.

CARR, G.M; J.P. NEARY. Water Quality for Ecosystem and Human Health, 2 ed. **United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System**, 2008. Disponível em :http://www.gemswater.org/publications/pdfs/water_quality_human_health.pdf. Acesso: 3 jul 2020.

COSTANTINI, V.; MONNI, S. Meio ambiente, desenvolvimento humano e crescimento econômico. **Ecological Economics**.64 (4), 867-880. 2008. Disponível<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180090700328X>>. Acesso em: 1 jul 2020.

DINDA, S. A Hipótese ambiental da curva de Kuznets: Uma pesquisa. **Ecological Economics** . 49 (4), 431-455. 2004. Disponível em: <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904001570>>. Acesso em: 4 jul. 2020.

FLORAX, R. JGM; FOLMER, H.; REY, S. J. Specification searches in spatial econometrics: the relevance of Hendry's methodology. **Regional Science and Urban Economics**, v. 33, n. 5, p. 557-579, 2003.

HECKER, L.P.; WÄTZOLD, F.; MARKWARDT, G. Destaques sobre derramamentos espaciais: uma análise econométrica do tratamento de águas residuais em municípios mexicanos. **Ecological Economics** , v. 175, p. 106693, 2020. Disponível em:<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800919312479>> Acesso em: 22 jun 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estatísticas. Econômicas. Contas Nacionais. **Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios**. Disponível em:<
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 26 jun 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema de recuperação automática: SIDRA. **Censo Demográfico 2010. Disponível em:**
<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/amostra-trabalho-e-rendimento>>. Acesso em: 28 jun 2020.

KONCAGÜL, E. et al. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017. **Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação do Recurso Hídricos Gabinete do Programa de Avaliação Global da Água**. Divisão de Ciências Hídricas. 2017.

LESAGE, J. P.; PACE, R. K. Modelos econométricos espaciais. In: **Manual de análise espacial aplicada**. Springer, Berlim, Heidelberg, 2010. p. 355-376. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03647-7_18>. Acesso em: 2 jul. 2020.

LESAGE, J.P. An introduction to spatial econometrics. **Revue d'économie industrielle**, 3. 2008. pp. 19-44. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/rei/3887>>. Acesso em: 28 jun. 2020.

MALIK, O.A., HSU, A., JOHNSON, L.A., DE SHERBININ, A. Um indicador global de tratamento de águas residuais para informar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). **Environ. Sci. Pol.** 48, 172-185. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180090700328X>>. Acesso em: 1 jul 2020.

MARQUES, M. D.; DE OLIVEIRA SILVA, R.; DA COSTA MATA, H.T. Meio ambiente, inovações tecnológicas e crescimento econômico: uma análise sob a perspectiva da economia ambiental e economia ecológica. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 14, n. 25, p. 109-128, 2019. Disponível em: <<http://www.cadernosdodesenvolvimento.org.br/ojs-2.4.8/index.php/cdes/article/view/381>>. Acesso em: 1 jul 2020.

MASSOUD, M.A., TARHINI, A., NASR, J.A.. Abordagens descentralizadas para tratamento e gerenciamento de águas residuais: Aplicabilidade em países em desenvolvimento. **J. Environ. Manag.** 90, 652-659. 2009 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708001618>>. Acesso em: 2 jul 2020.

MEYER, A. A educação aumenta o comportamento pró-ambiental? Evidências da Europa. **Ecological Economics** .116, 108–121. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915001998>> Acesso em: 3 jul 2020.

MORAN, P. A.P. Interpretação de mapas espaciais. **Journal of Royal Statistacal Society.** v 10, n. 2, p. 243-251, 1948.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Os objetivos de desenvolvimento sustentável: dos ODM aos ODS. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD). Disponível em: <http://www.pnud.org.br/ODS.aspx>. Acesso em: 17 JUN. 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). Governança da água nos países da OCDE: uma abordagem multinível. 2011. Paris.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). Um instantâneo da qualidade da água no mundo: rumo a uma avaliação global. 2016. Nairobi, Quênia.

PROGRAMA DE DESNVOLVIMENTO DAS NAÇÕES UNIDAS (PNUD) 2016. Apoio à Implementação do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 - Gestão Sustentável da Água e Saneamento. 2016. NY, EUA.

ROMEIRO, A.R. Economia ou economia política da sustentabilidade. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Editora Campus, p. 1-29, 2003.

SUNDSTRÖM, A., MCCRIGHT, A.M. Examinando as diferenças de gênero na preocupação ambiental em quatro níveis da política sueca. In: **QoG Working Paper Series 2013: 10**. QOG - Instituto da Qualidade do Governo, Gotemburgo, Suécia. Tiebout, C.M., 1956. Uma teoria pura das despesas locais. *J. Polit. Econ.* 64 (5), 416-424. 2013 Disponível em: <<https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/38939>>. Acesso: 2 jul. 2020.

TORGLER, B.; GARCÍA-VALIÑAS, M.A. Os determinantes das atitudes dos indivíduos em relação à prevenção de danos ambientais. **Ecol. Econ.**, **63** (2-3). 2007, p. 536 – 552. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906006021>>. Acesso em: 1 jul. 2020.