




Análise do Impacto da Mineração no Desenvolvimento dos Municípios Mineiros e Paraenses em 2000 e 2010

Guilherme Denes¹  | Pedro Amaral²  | Ana Maria Hermeto³ 

¹ Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: guilhermeden@gmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: pedroamaral@cedeplar.ufmg.br

³ Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: ahermeto@cedeplar.ufmg.br

RESUMO

O setor de mineração é relevante para economia brasileira, em especial para os municípios dos estados de Minas Gerais e do Pará, em virtude da sua capacidade de geração de renda, emprego e cadeia produtiva voltada à exportação. Não obstante, a atividade apresenta caráter ambíguo: a geração de renda é conjugada à elevada complexidade, carregando riscos ambientais e promovendo externalidades negativas. Este artigo pretende avaliar o impacto da mineração sobre o desenvolvimento de Minas Gerais e do Pará, em 2000 e 2010, além do efeito em desigualdade de renda. Para tanto, utilizou-se o pareamento pelo escore de propensão em um modelo *probit* espacial para avaliar a dependência espacial da mineração para controlar efeitos relativos à seletividade dos dados devido à rigidez locacional característica do setor, propiciando uma avaliação da causalidade do efeito da mineração no desenvolvimento humano municipal. Os resultados apontam que a mineração gera efeitos positivos no IDH restritos aos municípios sede no caso de Minas Gerais e do Pará, isto é, sem vazamento para as regiões vizinhas. Isto seria indesejável dada a finitude dos recursos naturais, a destinação de parte dos *royalties* minerais para os estados e a exposição ao risco de potenciais desastres ambientais. Além disso, resultados apontam efeitos não significativos sobre a desigualdade, o que é positivo se considerada a hipótese de que a desigualdade seria aumentada em função da atividade. Comparativamente, os efeitos no Pará se mostraram não significativos em 2000 e significativos e maiores do que em Minas Gerais em 2010, o que corrobora o caráter diferenciado do desenvolvimento da atividade no Pará, com efeitos maiores dado o perfil recente da atividade.

PALAVRAS-CHAVE

Mineração, Avaliação de Impacto, Escore de Propensão Espacial.

Analysis of the Impact of Mining on the Development of Municipalities in Minas Gerais and Pará in 2000 and 2010

ABSTRACT

The mining sector is relevant for Brazilian economy for its revenue generation, job creation and exporting supply chain. For the states of Minas Gerais and Pará in particular. Nonetheless its activity has an ambiguous character: high income generating capacity whilst inherently complex, risky and cause of negative externalities. This paper evaluates the impact of mining on the Municipal Human Development Index (MHDI) and in income inequality, in Minas Gerais and Pará, 2000 and 2010. For this purpose, Spatial Probit for spatial dependence assessment and *Propensity Score Matching* are used to control effects related to the locational rigidity characteristic of the sector. The paper finds positive effects of mining in the MHDI restricted to host municipalities, that is, without spillovers to the neighborhood. This could be considered undesirable given the finiteness of natural resources, the allocation of part of the mineral royalties to the states and exposure to the risk of potential environmental disasters. No significant effects on inequality are found. Results also show that in Pará effects are positive and bigger than Minas Gerais in 2010. In 2000 there were no effects. In that sense, the structural difference between new and intensive mining in Pará versus old and steady activity in Minas Gerais has shown distinct effects in MHDI.

KEYWORDS

Mining, Impact Evaluation, Spatial Propensity Score

CLASSIFICAÇÃO JEL

O12, D60, R10

1. Introdução

A extração mineral brasileira teve papel de destaque no começo dos anos 2000 em virtude do ciclo favorável do preço internacional de *commodities*, que dinamizou o setor entre 2006 e 2012, gerando tributos e emprego para as regiões produtoras. Segundo dados do Ministério da Economia, o setor correspondeu a 17% do valor FOB exportado pelo Brasil em 2021¹, ocupando o topo da pauta exportadora junto à soja e a produtos da agroindústria. Em termos de emprego, a Extração Mineral equivale a 0,5% dos postos de trabalho formais no Brasil. O Pará é o estado com maior participação relativa desse setor, com 2,2% da força de trabalho, e Minas Gerais é o segundo, com 1,3%, puxando para cima a média nacional.² O Valor da Produção Mineral brasileira em 2016 foi de R\$88,8 bilhões (DNPM, 2016). O minério de ferro é o principal produto, correspondendo a 52,5% do total de minérios. Somando-se ouro, cobre e alumínio, tem-se 75,6% do valor total. Ordenados por estado, Minas Gerais foi responsável por 44% da arrecadação total e Pará, por 31%. Juntos eles representavam $\frac{3}{4}$ da produção mineral brasileira.

Assim, a mineração exerce um papel central nas economias nos municípios de Minas Gerais e do Pará, exercendo externalidades positivas em função da renda gerada. Em contrapartida o setor também gera externalidades negativas, como os desastres ambientais em Mariana e Brumadinho (MG) em 2015 e 2019. A paralização da produção resultou em uma crise econômica sem precedentes na região, com queda acentuada na exportação e na arrecadação tributária do município de Mariana, indicando o elevado grau de dependência da mineração que essa economia apresenta (Simonato et al., 2017).

Esse caráter conflituoso das externalidades positivas e negativas geradas pelo setor suscita o questionamento acerca do custo-benefício social e econômico da atividade como um todo. Em virtude desse quadro, pergunta-se i) qual seria o impacto médio líquido do setor em termos de desenvolvimento no município sede da atividade e o impacto gerado nos municípios do entorno, haja vista as externalidades da produção mineral, e ii) qual o efeito na desigualdade de renda.

Este artigo visa avaliar se há espriamento (impacto) da atividade mineradora em relação ao desenvolvimento no entorno dos municípios que são sede de atividades mineradoras, sendo assim relevante para a calibragem da divisão dos *royalties* advindos da mineração entre os municípios e os estados mineradores. A investigação é feita utilizando *Probit* Espacial para avaliar a dependência espacial da mineração nos municípios de Minas Gerais e do Pará, calculando *Propensity Score Matching* para controlar efeitos relativos à rigidez locacional característica do setor. Na sequência é feita uma regressão para cada estado utilizando como peso o *score* encontrado, pro-

¹ Nota: Valor dos produtos minerais foram somados e comparados ao valor total exportado em USD FOB

² Nota: Considerou-se o subsetor IBGE “Extrativa Mineral” cruzado com as Unidades da Federação (UFs).

piciando uma avaliação da causalidade do efeito da mineração no desenvolvimento humano municipal e na desigualdade de renda. Este trabalho tem por contribuição a avaliação dos efeitos diretos e indiretos da mineração no desenvolvimento dos municípios mineradores sede da atividade e do seu entorno. A literatura sobre o tema tipicamente aponta efeito positivo na renda e aumento da desigualdade de renda nas sedes, sem aprofundar a temática do entorno, na vizinhança.

Após esta introdução, seguem os capítulos de Revisão de Literatura, Estratégia empírica e Modelagem, Base de dados e tratamentos, Resultados e Considerações Finais.

2. Revisão de Literatura

Acerca das externalidades da mineração, a renda é um exemplo positivo. Quando gerada no município sede, acaba por transbordar as fronteiras dos municípios, seja como salário para trabalhadores que moram em municípios vizinhos, seja como capital investido no entorno. De forma contrária, quando a poeira, o ruído ou a poluição de rios atravessa a delimitação administrativa, tem-se uma externalidade negativa da atividade afetando o entorno. Outros casos se referem a alterações biológicas, geomorfológicas, hídricas (contaminação e erosão de rios) e atmosféricas (poluição). Essas, por sua vez, teriam influência sobre a saúde humana (produtividade do trabalho), uso econômico da terra, aumento dos gastos no sistema público de saúde (em detrimento de investimentos), dentre outros exemplos.

Com a finalidade de mitigar esses efeitos danosos, o recolhimento de tributos advindos da atividade mineral, mais especificamente dos *royalties*, foi criado para compensar a população local. Conforme previsto pela Constituição Federal de 1988 e instituído pelas leis nº 7.900 e 8.001/1990, a CFEM é destinada ao orçamento de União (12%), estados (23%) e municípios (65%) e tem a finalidade de dirimir problemas ambientais e sociais. Sendo assim, ela funciona como uma variável chave na identificação da presença de mineração nos municípios. Em 25 de junho de 2017, a Medida Provisória (MP) 789 alterou essas leis propondo novos fatos geradores, bases de cálculo e alíquotas (DNPM, 2017).

Sobre renda e desigualdade, a atividade de extração mineral é heterogênea em termos produtivos e na sua relação com o entorno. No caso dos minerais não metálicos, a lógica produtiva é a do mercado interno e há maior interrelação com outros setores ao longo da cadeia produtiva. Já na produção de minerais metálicos, a atividade promove um certo insulamento, ou enclave produtivo. Nahas (2014) argumenta que os municípios intensivos em mineração apresentam tendência à descomplexização produtiva, com aumento da dependência da economia em relação à mineração. Isto ocorreria em virtude da concentração do capital disponível na economia para essa atividade, promotora de poucos encadeamentos industriais em sua cadeia produtiva. Além disso, a atividade seria poupadora de mão de obra e intensiva em capital de

perfil pouco flexível, ou seja, com elevados custos fixos e imobilizados.

A seguir na Tabela 1, são resumidas cinco evidências trazidas pela literatura sobre o setor minerador e seu impacto em fatores socioeconômicos. A mineração é retratada como atividade concentradora de renda e pouco eficiente na hora de dinamizar e desenvolver o entorno.

Tabela 1. Revisão de Literatura acerca de Impactos da Mineração

Efeitos da mineração	Impacto aferido	Autores	Unidade espacial, período e método
Renda, pobreza e desigualdade	Aumento de renda, diminuição da pobreza e aumento da desigualdade de renda. Desigualdade tende a ser maior quando há um nível intermediário de produção mineral, além de efeitos heterogêneos por gênero.	(McMahon e Moreira, 2014; Zambrano et al., 2014; Loayza e Rigolini, 2016; Reeson et al., 2012)	(McMahon e Moreira, 2014): Painel de países mineradores entre 1991 e 2010. Regressão aponta efeito positivo no IDH e seus subíndices. (Loayza e Rigolini, 2016): Peru entre 1990 e 2000. Analisaram distritos. Efeito da mineração em consumo <i>per capita</i> e taxa de pobreza. Observaram que o efeito positivo decai drasticamente conforme aumenta a distância em relação ao município central. Resultado dual: positivo na renda, negativo em termos distributivos. (Reeson et al., 2012): Austrália, mensuraram efeitos da mineração no índice de Gini, observando efeito em gênero.
IDH	Impacto positivo em IDH e ACP (Componente Principal)	(de Andrade et al., 2010) e (Silva e Drummond, 2005)	(de Andrade et al., 2010): análise de componentes principais (ACP) relacionados a IDH para definir variável dependente de uma regressão MQO. Usou dummy de município minerador, com recorte: CFEM superior a R\$ 400 mil em valores de 2004. Objeto: municípios de Minas Gerais. (Silva e Drummond, 2005): municípios do Pará na década de 1980. Avaliou se certificação impactou positivamente as empresas e o IDH dos municípios.
Saúde	Doenças mais comuns são as respiratórias, o câncer e as doenças associadas à saúde mental.	(Candeias et al., 2018), (Viana, 2016) e (Scliar, 1998)	Trabalhos qualitativos que articulam a relação entre a atividade mineradora e as doenças nas comunidades.
Fiscalização	Eficiência da fiscalização varia em função do ciclo econômico da mineração. No período de crescimento desse ciclo, há uma maior pressão sobre a produção de licenças ambientais e outorgas para exploração, com perdas na efetividade das análises e fiscalização.	(Mansur et al., 2016) e (Simonato et al., 2017), Petrie (2007).	Avaliação qualitativa da atividade mineradora: de alta intensidade energética, formadora de resíduos de alta entropia, baixa eficiência de conversão. Alto custo para investimento e sem possibilidade de reversão: <i>sunkcost</i> .
Meio Ambiente	Poluição. Fase de pesquisa, na lavra (extração), no beneficiamento e, na fase de apoio logístico. Preocupação com ruído, vibrações, poeira, lama abrasiva e principalmente manejo de resíduos.	(ANA, 2006), (Simonato et al., 2017).	(ANA, 2006): avaliação qualitativa da utilização de água e dos resíduos gerados na atividade mineradora em municípios do Brasil. (Simonato et al., 2017): o rompimento da barragem do Fundão da empresa Samarco Mineração S.A no final do ano de 2015 evidenciou o potencial de destruição que a atividade proporciona. Ao mesmo tempo, a paralisação da produção resultou em uma crise econômica sem precedentes na região, com queda acentuada na exportação e na arrecadação tributária do município de Mariana.

Fonte: Elaboração própria.

De forma geral, a literatura apontada converge em relação ao potencial gerador de renda da atividade mineradora. Os apontamentos críticos, por sua vez, são merecedores de destaque. A desigualdade de renda estaria fundamentada no diferencial salarial que a atividade promove. Em virtude da pouca interrelação da atividade com outros setores, não há efeito multiplicador elevado dessa renda, contribuindo para a manutenção de desigualdade de renda a nível local e, eventualmente, regional. O impacto das atividades mineradoras nas comunidades locais ocorre principalmente pela exposição à contaminação pelo ar, pela água, pelo solo e por ruído.

Sobre os recursos hídricos, o (IBRAM, 2015) defende que a água, na mineração, não concorre com o uso domiciliar uma vez que, em todos os processos produtivos, a atividade utiliza água não tratada. O Instituto pontua que apenas 30% da polpa transportada é constituída por água e que as empresas brasileiras investem em racionalização e eficiência hídrica. Já (Felippe et al., 2016) defende a existência do *trade-off* ao trazer

evidências de que em 2015 houve escassez de água nas residências de municípios mineradores e redução dos níveis de lençóis freáticos da região, ameaçando a segurança hídrica. O autor observou a falta de água em municípios que obtiveram novas outorgas concedidas para exploração mineral. Esses municípios estão geralmente postados à jusante das operações. Dessa forma, fica apontado que: (i) o uso pela mineração concorre com o uso residencial; e (ii) apesar da mineração utilizar água não tratada, ela afeta o volume disponível no lençol freático, cujos impactos na quantidade de água destinada para tratamento são de longo prazo.

Na mineração, é necessária a locomoção, a partição, o tratamento físico e químico das rochas. Tais fatores geram poeira, partículas suspensas que podem se acumular no trato respiratório humano. A posição altimétrica elevada, caso de encostas, onde comumente se encontra minério de ferro e quartzito, é um fator que aumenta a propagação dos sedimentos que causam assoreamento e cheias, além de promover a degradação da fauna e flora. Outras substâncias minerais comumente associadas a doenças são a sílica, o talco e o amianto. (Scliar, 1998) ressalta que a poeira não se concentra onde ela foi gerada, o que evidencia a externalidade negativa.

Dessa forma, destacam-se como possíveis externalidades negativas o uso de água pela mineração em detrimento do uso doméstico quando há escassez e os riscos intrínsecos da atividade mineradora que tem potencial para afetar o meio ambiente, as comunidades locais e a economia dos municípios.

3. Estratégia Empírica e Modelagem

Conforme apresentado, a atividade mineradora exerce forças socioeconômicas positivas e negativas sobre seu município sede e região vizinha. Este artigo se propõe a investigar i) o impacto médio líquido do setor em termos de desenvolvimento no município sede da atividade e o impacto gerado nos municípios do entorno, haja vista as externalidades da produção mineral, e ii) o efeito da atividade na desigualdade de renda. Como desenvolvimento é um conceito amplo, multidimensional, este trabalho adota o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal como mensuração do nível de desenvolvimento e o indicador de desigualdade da proporção dos 10% mais ricos em relação aos 40% mais pobres como medida de desigualdade de renda.

A análise de impacto consiste essencialmente em uma regressão de uma *dummy* de municípios mineradores nos estados de Minas Gerais e Pará, em 2000 e 2010, contra as variáveis dependentes acima. Contudo, de modo a aferir causalidade, são aplicadas variáveis de controle na regressão, assim como se atribui um peso diferenciados para os municípios, em função de *propensity score*, de modo a evitar vieses de seleção, comparando municípios semelhantes no grupo de tratamento e controle identificados pela variável *dummy* de intensidade da mineração. A respeito do *propensity score*, foram incluídas variáveis locais, conforme realizado por (Brasil, 2016) e (Chagas et al., 2012). A utilização do *score* como peso é tipicamente realizada desde Hirano e

Imbens (2003). A seguir discute-se a rigidez locacional na mineração, que motiva a escolha de variáveis de controle na investigação.

A atividade de extração mineral tem como característica intrínseca a necessidade de se situar próxima às jazidas minerais para se tornar economicamente viável. Isto se dá principalmente pelo fato de que a localização dos minérios é naturalmente concentrada em virtude das suas características geológicas (Monteiro, 2004). Em segundo lugar, seu custo de transporte é elevado. Esses fatores tornam a escolha locacional da firma mineradora rígida e determinada junto à fonte de matéria-prima. Adicionalmente, a localização de firmas mineradoras serve como sinalização para uma firma entrante no mercado de que há viabilidade econômica ou de que existe possibilidade de compartilhamento de infraestrutura (de *essential facilities* como ferroviárias), ou ainda, de que existe mão de obra capacitada (Elhorst, 2010). Assim, por uma questão informacional, adicionar ao modelo a vizinhança pode ter poder explicativo relevante. Portanto localização e entorno não apenas são elementos chave para as operações como são impactados diferentemente a depender do tipo de extração mineral, como visto anteriormente. Como a atividade mineradora depende de componentes locais como a presença de minerais no solo e a disponibilidade hídrica na região, propõe-se incluir esses fatores na avaliação de impacto (ver (Brasil, 2016)).

Para a atividade de mineração, características básicas relativas ao solo, relevo, disponibilidade hídrica, altimetria e chuva podem ser consideradas comuns à atividade independentemente do segmento analisado, dado que são fatores essenciais na escolha locacional das firmas. (ANA, 2006; Viana, 2016; Brasil, 2016). O *Propensity Score* é prático nesse sentido, pois mede a probabilidade de um município ser minerador de acordo com algumas características observáveis. Ele permite (i) a retirada do viés de seleção para a posterior estimação do efeito da mineração sobre o desenvolvimento (seleção por variáveis observáveis) e (ii) a utilização do score como peso para os municípios não mineradores que servirão de controle para os municípios mineradores, ditos tratados (Rosenbaum e Rubin, 1983).

A identificação do modelo econométrico para os dados apresentados é feita por meio dos testes de dependência espacial. No caso da mineração, o teste é feito na estimação do *probit* espacial, o qual relaciona a variável dependente (*dummy* município minerador) com as variáveis locais relativas à rigidez locacional. Caso o teste aponte a dependência, modelos espaciais são recomendados para lidar com correlações de vizinhança. Para mensurar de forma econométrica o efeito da rigidez locacional no estabelecimento da mineração, será utilizada a técnica de *Spatial Propensity Score Matching* (SPSM). O suporte comum e o *matching* eliminam parcialmente o viés de seleção que pode ser controlado por meio de variáveis observáveis, restando a possibilidade da manutenção de viés advindo de elementos não observáveis. A qualidade do *matching* depende dos controles utilizados no cômputo do *propensity score* (Becker e Ichino, 2002).

A seguir serão discutidos os seguintes aspectos da estratégia empírica: Pareamento

pelo Escore de Propensão, Dependência Espacial, Escore de Propensão Espacial e Regressão duplamente robusta.

3.1 Pareamento pelo Escore de Propensão

Para estudar o efeito causal entre as variáveis de escolha locacional e a presença de mineração nos municípios, a técnica de *Spatial Propensity Score Matching* é utilizada com a finalidade de corrigir o viés de autosseleção por meio do controle feito via características observáveis (Angrist e Pischke, 2009). O escore de propensão é utilizado como ponderador para os municípios, dando maior peso no grupo de controle para aqueles semelhantes aos tratados. A seguir, é realizada a apresentação da metodologia de cálculo do efeito da mineração (tratamento) sobre os municípios mineradores (tratados).

Seja Y a variável de interesse ou resultado, T é a variável *dummy* que indica se o município é minerador (tratado), se recebeu o tratamento, assumindo o valor um nesse caso, ou zero caso contrário. Caso houvesse um experimento aleatório em que os tratados e não tratados fossem idênticos, a comparação simples entre as médias bastaria para aferir o impacto da mineração, como é descrito pela equação abaixo:

$$DifMedia = E[Y | T = 1] - E[Y | T = 0] \quad (1)$$

O grupo de controle serviria exatamente para ser alvo de comparação com o grupo de tratados. Contudo, na realidade os grupos diferem e o cálculo de impacto não é dado com a simples subtração. Seja Y_1 o resultado potencial de ser minerador (ser tratado) e Y_0 resultado potencial de não ser minerador. O parâmetro de interesse ou o efeito do tratamento sobre os tratados (*ATT*) é o resultado diferencial recebido pelo tratamento no subgrupo de municípios mineradores. *ATT* é definido por:

$$ATT = E[Y_1 | T = 1] - E[Y_0 | T = 1] = E[Y_1 - Y_0 | T = 1] \quad (2)$$

O *ATT* e a diferença de médias (*DifMedia*) podem diferir caso haja viés de seleção, ou seja, caso o grupo de comparação seja inadequado: comportamento distinto daquele que os tratados teriam caso não fossem tratados.

$$\begin{aligned} Viés\ de\ seleção &= E[Y | T = 1] - E[Y | T = 0] = (E[Y_1 | T = 1] - E[Y_0 | T = 1]) \\ &= E[Y_0 | T = 1] - E[Y_0 | T = 0]. \end{aligned} \quad (3)$$

No caso de seleção aleatória, temos $(Y_0, Y_1) \perp T$, e, assim, esse viés é nulo.

$$Viés\ de\ seleção = E[Y_0 | T = 1] - E[Y_0 | T = 0] = E[Y_0] - E[Y_0] = 0. \quad (4)$$

No caso de seleção por variáveis observáveis X , temos que o resultado potencial é

independente do tratamento quando condicional a X , isto é, quando $(Y_0, Y_1) \perp T/X$. Essa hipótese é denominada ignorabilidade do tratamento. Como é uma hipótese não testável, exercícios empíricos devem ser baseados na literatura de mineração.

A probabilidade de ser tratado $p(X)$ é denominada escore de propensão ou *propensity score* (Heckman et al., 1998), e é descrita desta forma:

$$p(X) = \Pr[T = 1 | X] = \Pr[T = 1 | Y_1, Y_0, X] \quad (5)$$

Com o uso das características geográficas observáveis, teremos:

$$E[(Y_1 - Y_0) | T = 1, X] = E[(Y_1) | T = 1, X] - E[(Y_0) | T = 1, X] \quad (6)$$

E com o uso do contrafactual desse grupo de controle bem selecionado, temos que $E[(Y_0) | T = 1, X] = E[(Y_0) | T = 0, X]$. Nesse momento, faz-se uso da hipótese de suporte comum, que sugere que $p(X) \in (0, 1) \forall X \in \chi$, tal que χ é o suporte da distribuição de X . Em outras palavras, o grupo de tratamento é indiferenciável usando as informações contidas em X . A hipótese de ignorabilidade do tratamento e de suporte comum combinadas são chamadas de ignorabilidade forte, (Rubin, 1977). Ao parear uma observação do grupo de controle com uma do grupo de tratamento com as mesmas características de X , realiza-se um pareamento um para um. Em seguida, imputa-se o valor de Y do indivíduo controle no do grupo de tratamento sob a hipótese de não tratamento. Feito o pareamento, calcula-se a média $E[Y_0 | T = 1]$ (Angrist e Pischke, 2009).

O *Propensity Score Matching* é espacial nesse caso, uma vez que são utilizadas matrizes de peso que capturam, de forma exógena, o padrão de vizinhança entre as observações para o cômputo do *propensity score*. O primeiro passo para a estimação de impacto é realizado por meio da uma regressão *Probit* ou *Logit* descrita abaixo. No caso, como as variáveis geográficas são praticamente constantes no tempo, pode ser realizada uma *cross-section* (Brasil, 2016).

$$T_i = pWT + X_iB + e_i \quad (7)$$

T_i é um vetor $N \times 1$ relativo à variável limitada, WT é a variável de T defasada espacialmente com o auxílio da matriz W de vizinhança, XB é uma função *index*, em que X é uma matriz $N \times k$ de observações e B é um vetor $k \times 1$ de coeficientes. A variável e_i é um vetor $N \times 1$ de erros aleatórios assumidos normalmente distribuídos.

A partir dos valores preditos nessa regressão (função linear XB), é construído o *propensity score* (*pscore*) dos municípios por meio da normalização dos valores encontrados. A depender da matriz de peso utilizada, variam os valores obtidos, uma vez que a essa matriz parametriza a estrutura de dependência entre os municípios. A ponderação pelo *pscore* será utilizada na segunda etapa de estimação de impacto, com o objetivo de evitar o potencial viés de variável omitida e aumentar a robustez da

estimação (Imbens e Wooldridge, 2009).

Segundo (Smith e Todd, 2005), o estimador de *ATT* do PSM respeita a forma a seguir:

$$ATT_{PSM} = \frac{1}{N_T} \left[\sum_{i \in T} Y_{1,i} - \sum_{j \in C} \omega(i,j) Y_{0,j} \right] \quad (8)$$

em que N_t corresponde ao número de indivíduos tratados no suporte comum, $\omega(i, j)$ é o peso atribuído aos indivíduos, o qual depende dos *pscores* de tratados e não tratados.

3.2 Dependência Espacial

Inicialmente, são levantadas estatísticas e testes de dependência espacial de modo a subsidiar se a regressão espacial é necessária para a análise. No caso do modelo *Probit*, ignorar a dependência espacial gera não somente ineficiência, como seria o caso dos modelos convencionais, mas também inconsistência para estimações por verossimilhança (Fleming, 2004).

Essa análise de dependência espacial é comumente realizada pelos testes I de Moran, teste de erro LM e teste de Wald, aplicados nos resíduos das regressões Anselin (1988). Para estimações com variáveis dependentes limitadas, como é o caso deste trabalho, três são os testes propostos pela literatura: (Pinkse e Slade, 1998; Pinkse, 1999, 2004) e (Kelejian e Prucha, 2001). (Amaral et al., 2013) mostram que o último é o com maior poder.

3.3 Escore de Propensão Espacial

A atribuição do peso na regressão principal será feita com base nos *pscores* obtidos na etapa da estimação do *Probit* Espacial. Outra possibilidade contida na literatura³ para estimar o *ATT* com PSM é via *nearest-neighbor*. O método de *nearest-neighbor* parecia um indivíduo do grupo de controle com o indivíduo i do grupo de tratamento mais parecido em termos de *pscore*. Nesse caso, há risco de existir pareamento com *pscores* diferentes, deixando de representar um bom contrafactual.

Nesse caso, como não existem testes que comparam os modelos de variável limitada, a significância do coeficiente do componente autoregressivo da variável dependente vai determinar se o modelo adequado é o de *lag* espacial (SAR) ou o modelo de erro espacial (SEM). Abaixo são qualificadas as especificidades desses dois casos clássicos de especificação do padrão da dependência espacial.

O modelo SAR (*spatial autoregressive*) aplicado ao *Probit* indica se a probabilidade de o município ser minerador depende da probabilidade de o vizinho ser minerador ou

³(Dantas et al., 2014; Becker e Ichino, 2002).

não minerador. Em geral, o *spatial lag* (WY) pode ser interpretado como média ponderada dos vizinhos, ou *spatial smoother*. Esse modelo é apropriado quando o objetivo é pesquisar a direção e a intensidade da interação espacial (Anselin, 2003). O modelo de *lag* espacial deve ser utilizado quando se acredita que a dependência espacial é inerente à variável dependente, mediante a ocorrência de *spillovers* (Harris, 2011). É o caso quando ocorrem economias de aglomeração com externalidades positivas entre as firmas, como quando há minimização de custos transporte e de transação, troca de conhecimento em P&D, por exemplo. Outros aspectos relativos são a existência de mercado consumidor, acesso a bens intermediários e trabalhadores. Se esse for o caso, a variável dependente é correlacionada com sua vizinhança, trazendo endogeneidade.

$$Y = \rho WY + X\beta + e \quad (9)$$

$$e \sim N(0, \sigma^2) \quad (10)$$

Em que Y é um vetor $n \times 1$, ρ é um escalar, W é uma matriz $n \times n$, X é uma matriz $n \times k$, B é um vetor $k \times 1$ e e é o erro estocástico com distribuição normal.

O modelo SEM (*spatial error model*) mostra que a relação de vizinhança se dá nas variáveis não observadas presentes no erro (Anselin, 2003). (Dubin, 1998) argumenta que erros de medida com relação aos fatores explicativos da regressão implicam uma possível correlação espacial dos erros.

$$Y = X\beta + u \quad (11)$$

$$u = \lambda Wu + e \quad (12)$$

$$e \sim N(0, \sigma^2) \quad (13)$$

Y é um vetor $n \times 1$, X é uma matriz $n \times k$, β é um vetor $k \times 1$, u é erro modelado como autorregressivo de primeira ordem. W é uma matriz $n \times n$ e e é o erro estocástico com distribuição normal. O parâmetro λ pode indicar correlação espacial dos resíduos.

A estimação de modelos espaciais pode ser desenvolvida por três métodos: máxima verossimilhança (ML), método de momentos generalizados (GMM) e a abordagem Bayesiana com Monte Carlo por meio de cadeias de Markov (MCMC). (Elhorst, 2010). Relativo ao modelo *Probit* utilizado, os modelos espaciais não lineares são hetero-

dásticos e o método de máxima verossimilhança torna as estimações inconsistentes (Wooldridge, 2002). (LeSage, 1997) propôs utilizar *Probit* com defasagem espacial empregando Monte Carlo, utilizando-se de estimadores bayesianos. Atualmente o único software que calcula o *pscore* nos modelos *Probit* espaciais é o MATLAB por meio das rotinas de LeSage.

3.4 Regressão Duplamente Robusta

Após o diagnóstico de dependência espacial, mensura-se o efeito em IDHM de um município ser minerador, o que foi denominado de efeito direto (β_1). A regressão abaixo apresenta esta forma de quantificar o impacto da mineração, em que não se considera o efeito da vizinhança da atividade (externalidades). O uso de controle na regressão permite comparar o efeito direto obtido nesse trabalho com o que se espera de uma análise simplificada, ou incondicional.

$$IDHM = \beta_0 + \beta_1 d_{Minerador} + \beta_2 controles + e \quad (14)$$

O estimador utilizado é duplamente robusto, o que permite a comparação do impacto entre municípios similares com consistência quando corretamente especificado (Bang e Robins, 2005). O *pscore* é utilizado como peso na regressão, de forma que quanto maior ele for, maior será seu peso na ponderação. Municípios intensivos em mineração tem peso igual a unidade, enquanto os não mineradores têm seu peso dado pelo escore obtido.

A regressão que busca mensurar as externalidades da atividade é apresentada a seguir. Utiliza-se metodologia semelhante ao exercício anterior de forma a mensurar dois efeitos em IDHM: o de ser minerador (β_1) e o de ter um vizinho minerador, este último denominado de efeito indireto (β_2).

$$IDHM = \beta_0 + \beta_1 d_{Minerador} + \beta_2 W d_{Minerador} + \beta_3 controles + e \quad (15)$$

Em virtude da existência desses dois parâmetros, torna-se possível avaliar o efeito da mineração em quatro casos: o que não se é minerador e não se tem vizinhança mineradora ($\beta_1 = 0$ e $\beta_2 = 0$), que somente se tem vizinhança mineradora ($\beta_1 = 0$ e $\beta_2 \neq 0$), o caso em que somente se é minerador ($\beta_1 \neq 0$ e $\beta_2 = 0$), e o caso em que se é minerador e se tem vizinhança ($\beta_1 \neq 0$ e $\beta_2 \neq 0$). Esse exercício revela o papel das externalidades na mineração de forma condicional aos casos apresentados.

4. Base de Dados e Tratamentos

O critério escolhido para caracterizar um município como minerador foi o de ter uma receita de *royalty* superior a mediana da amostra de municípios do estado⁴. Na literatura recente sobre impacto da mineração, o critério para determinação de que um município pertence ao grupo de tratamento foi majoritariamente exógeno, como em (Enríquez, 2007), com valor anual de CFEM superior a R\$ 1 milhão (valores de 2003) ponderado pela sua participação na receita municipal (entre 5% e 30%), como em (Barreto et al., 2001), CFEM superior a U\$ 500 mil (valores de 2000) e (de Andrade et al., 2010), com CFEM superior a R\$ 400 mil (valores de 2004). Alguns estudos fizeram a identificação pelo simples recebimento de *royalties* (Zambrano et al., 2014) ou pelo recebimento de CFEM (Brasil, 2016).

As variáveis objetivo consideradas na avaliação de impacto são i) o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), feito pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD); e ii) a razão da renda dos 10% mais ricos e dos 40% mais pobres, medida de desigualdade, uma vez que o IDH não absorve essa dimensão em sua mensuração.

Neste trabalho, atenta-se para os valores dos anos de 2000 e 2010 referentes aos municípios dos estados de Minas Gerais e do Pará. Serão estimados diversos modelos para avaliar o impacto da mineração no desenvolvimento. O IDHM é composto por uma média geométrica com pesos idênticos entre seus componentes ou subíndices: IDHM longevidade (IDHML), IDHM educação (IDHME) e IDHM renda (IDHMR). O IDHM pode ser analisado a partir dos seguintes valores críticos: entre 0 - 0,499, é considerado muito baixo, entre 0,500 - 0,599, baixo, entre 0,600 - 0,699, médio, entre 0,700 e 0,799, alto e, entre 0,800 e 1, muito alto (Brasil, 2013).

O indicador de desigualdade de renda, por sua vez, será a razão dos 10% mais ricos com os 40% mais pobres a nível municipal. Esse indicador foi construído pelo (Brasil, 2013) a partir da variável de renda domiciliar *per capita* e também é chamado de *Palma Ratio*. Sua análise fornece uma qualificação diferenciada do nível de desenvolvimento dos municípios por demarcar não uma média, mas a dispersão dos valores. Dessa forma, observa-se algo que o IDHMR não consegue qualificar, que é a diferença de renda domiciliar intramunicipal.

Em conformidade com (Brasil, 2016) e com a rigidez locacional das empresas mineradoras, as variáveis geográficas que estão intimamente relacionadas à escolha locacional das firmas de mineração são: composição do solo, composição geológica⁵, o volume de chuvas⁶, a altitude (IBGE), e, por último, a disponibilidade hídrica. Foram

⁴ Base de dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) referente à Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Para construção da variável de 2000, foi feita uma extrapolação para trás com tendência logarítmica entre os anos de 2004 e 2010.

⁵ Recentemente, o Ministério de Meio Ambiente (MMA) disponibilizou uma base de dados pública consolidando dados geográficos e facilitando seu acesso (MMA, 2017). Do próprio Ministério, existem dados de solo e relevo.

⁶ CPRM - serviço geológico do Brasil - disponibiliza a média de chuva anual entre 1977 e 2006 por

utilizados ainda o IDHM de 1991, obtido no (Brasil, 2013), que atua como controle ao ser uma variável defasada da variável dependente. As variáveis população e área foram obtidas no IBGE. Por fim, com o intuito de controlar as regressões por uma medida defasada de atividade mineradora, na ausência da medida do CFEM, utilizou-se a representatividade relativa da mão de obra formal alocada no setor mineral, considerando essa porcentagem do município em relação a seu respectivo estado. Foi escolhido o ano de 1991 da base de dados RAIS (MTE).

Nos casos dos dados de altitude, chuva e disponibilidade hídrica, foi utilizado o método de imputação das médias dos vizinhos via *Nearest Neighbor* (NN) com número de vizinhos (k) igual a seis, de forma a solucionar o problema de dados faltantes existentes. Esse exercício equivale ao cálculo da média de disponibilidade hídrica da vizinhança como *proxy* para o valor faltante na base de dados. Testes de robustez variando o número de vizinhos não mostrou alteração relevante nas médias produzidas.

A seguir são apresentadas as médias dos valores das variáveis independentes nos grupos de tratamento e controle. A Tabela 2 apresenta os valores para o estado de Minas Gerais. O teste t revela que as variáveis altitude, chuva e vazão de água para indústria não apresentam uma diferença significativa entre os grupos⁷. As variáveis que são diferentes são população 2010, IDHM de 1991, % Mão de obra mineradora 1991, *dummy* da região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), área e disponibilidade hídrica.⁸

Para o Pará apenas as variáveis de área, altitude e Relevância Classificação IBGE - 02 se mostraram diferentes entre os grupos.

5. Resultados

Os resultados apresentados correspondem ao passo a passo apresentado na seção de estratégia empírica e modelagem, a saber, análise de dependência espacial, cálculo do escore de propensão e regressão duplamente robusta.

A estatística I de Moran Univariada indica se em determinadas regiões existe um padrão de valores associado à localização geográfica, revelando um comportamento de vizinhança. Serão utilizadas as matrizes de peso rainha de primeira ordem e *Nearest Neighbor* (NN) com ordem 6. Testes de robustez variando o número de vizinhos não mostraram alteração relevante nas médias produzidas. A análise da variável arrecadação de CFEM municipal para Minas Gerais resultou em uma estatística de 0,2064 (peso rainha), e de 0,1531 (NN=6), resultados ambos significativos, informando uma

município.

⁷ Utiliza-se como referencial o nível de significância de 1%, valores superiores a +1,65 são considerados significativos (inferiores a -1,65 também) seguindo tabela t-student para 300 graus de liberdade.

⁸ As variáveis de relevo e solo foram construídas seguindo dummies para as suas várias classificações presentes no IBGE. Assim, ainda que sua presença no PSM seja relevante, o valor médio não guarda significado relevante.

Tabela 2. Comparação da média das variáveis independentes – Minas Gerais (2010)

Variáveis Independentes	Média Tratamento	Média Controle	Diferença
População 2010	67084 (15274)	12076 (986)	22975 t=7,02
IDHM 1991	0,43 (0,006)	0,38 (0,003)	0,524 t= 7,78
% Mão de obra mineradora 1991	0,54 (0,148)	0,01 (0,001)	0,533 t=7,24
Dummy RMBH	0,15 (0,027)	0,01 (0,003)	0,14 t = 9,07
Área	915,04 (110,28)	631,40 (30,63)	283,64 t = 3,44
Altitude	769,82 (18,91)	736,26 (10,37)	33,56 t =1,46
Chuva	1362,00 (16,35)	1335,00 (8,64)	27 t =1,38
Vazão de água para Indústria	484044 (119643)	320400 (44674)	163644 t = 1,5188
Disponibilidade Hídrica	38,95 (5,88)	63,86 (5,99)	-24,91 t =-2,00
Relevo Classificação IBGE - 01	16,89 (0,6953)	15,13 (0,3005)	1,76 t = 2,53
Relevo Classificação IBGE - 02	2,59 (0,06)	2,43 (0,04)	0,16 t = 2,05
Relevo Classificação IBGE - 03	7,77 (0,2601)	8,79 (0,1306)	-1,02 t = -3,49
Solo	10,24 (0,4394)	9,49 (0,2184)	0,75 t = 1,53

Nota: Número de observações dos Tratados = 169, Número de obs. do Controle = 684, Graus de Liberdade: 851. Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3. Comparação da média das variáveis independentes – Pará (2010)

Variáveis	Média Tratamento	Média Controle	Diferença
População 2010	77143 (20141)	48199 (11892)	28943,6 t = 1,03
IDHM 1991	0,33 (0,010)	0,31 (0,006)	0,027 t = 1,85
% Mão de obra mineradora 1991	1,20 (0,666)	0,60 (0,419)	0,601 t = 0,61
Área	19781 (6374)	6498 (1427)	13283 t = 3,12
Altitude	218,75 (28,9)	162,60 (9,4)	56,15 t= 2,29
Chuva	2195 (92,4)	2269 (32,1)	-74 t= -0,88
Vazão de água para Indústria	36720 (17970)	195162 (187269)	-158442 t= -0,38
Disponibilidade Hídrica	317,21 (162,1)	2766,38 (1072,1)	-2449 t= -1,02
Relevo Classificação IBGE - 01	19,92 (2,31)	20,89 (1,03)	-0,97 t= -0,38
Relevo Classificação IBGE - 02	1,42 (0,189)	0,96 (0,084)	0,46 t= 2,23
Relevo Classificação IBGE - 03	7,58 (0,809)	7,61 (0,491)	-0,03 t= -0,026
Solo	11,29 (1,05)	10,00 (0,64)	1,28 t= 0,85

Nota: Número de observações dos Tratados = 24, Número de obs. do Controle = 119, Graus de Liberdade: 141.

Fonte: Elaboração própria

correlação espacial positiva. Para o caso do Pará, a análise indicou resultado não significativo, o que revela que não há correlação espacial entre os municípios paraenses.

O teste de dependência espacial em Minas Gerais e no Pará seguindo o artigo de (Kelejian e Prucha, 2001) mostrou evidências de que há dependência espacial no resíduo da regressão *Probit* para Minas Gerais, mas não para o Pará, tanto utilizando matriz de vizinhança do tipo rainha de primeira ordem quanto 6 vizinhos mais próximos.

Tabela 4. Diagnóstico de Dependência Espacial de Kelejian-Prucha - Probabilidade rejeitar H_0 .

Matriz de Peso	Minas Gerais	Pará
Rainha de Ordem 1	0,000	0,192
NN 6	0,000	0,630

Elaboração própria.

No caso do Pará a não existência de dependência espacial indica a adequação de um *Probit* convencional. Para Minas Gerais é necessário fazer a escolha do modelo espacial que será utilizado para tratar a dependência encontrada. A Tabela 5 mostra o resultado das estimações do modelo *Probit* para o modelo espacial autoregressivo – SAR *Probit*.⁹ O resultado mostra um ρ positivo e significativo. Isto indica que a média de a vizinhança ser mineradora aumenta a probabilidade de o município ser minerador. Nota-se que altitude, vazão de água disponível para uso industrial, relevo e solo não são significativas, ao contrário de disponibilidade hídrica que apresenta sinal negativo e significativa. Esta variável não era anteriormente contemplada pela literatura de avaliação de impacto econômico de mineração e revela uma correlação negativa entre ter disponibilidade hídrica e ser minerador. Os resultados mostram que apenas Relevo Classificação IBGE – 02 é uma variável-chave na escolha locacional das empresas mineradoras, considerando nível de significância de 10%.

A Tabela 6 apresenta a média e mediana da distribuição dos *pscores* estimados. Essas estatísticas foram levantadas para comparar os valores obtidos tendo-se variado as matrizes de peso. A partir da escolha de uma delas, será realizada a estimação duplamente robusta do impacto da mineração sobre o IDHM e seus subíndices.

Nota-se a partir das estatísticas de cada coluna que a matriz de peso gera pouca variação na média e mediana dos *pscores*. A matriz de peso rainha de ordem 1 será utilizada nas próximas estimativas em virtude de sua motivação teórica, de que os vi-

⁹ A não existência de testes que permitam a escolha entre os modelos SAR e SEM para uma regressão *Probit* exige que a definição do modelo seja feita com base na significância do parâmetro autoregressivo do modelo SAR *Probit*. O modelo paraense foi estimado sem espacialidade em virtude da constatação de não dependência espacial.

Tabela 5. Modelo *Probit* Não espacial e Autoregressivo espacial (SAR *Probit*)

	Minas Gerais			Pará
	Não Espacial	SAR <i>Probit</i> (Rainhal)	SAR <i>Probit</i> (NN6)	Não Espacial
Constante	-1,827*** (0,542)	-0,557*** (0,075)	-0,553*** (0,067)	-2,627** (1,34)
População 2010	0,000*** (0,000)	0,388*** (0,140)	0,440*** (0,140)	0,000 (0,000)
IDHM 1991	2,846*** (0,926)	0,245*** (0,081)	0,223*** (0,074)	2,574 (2,65)
Área	0,000 (0,000)	0,080* (0,060)	0,098* (0,062)	0,000 (0,000)
% Mão de obra mineradora 1991	4,770*** (0,791)	4,091*** (0,613)	3,290 (0,515)	-0,023 (0,049)
Altitude	0,000 (0,000)	0,008 (0,064)	-0,011 (0,061)	0,000 (0,001)
Chuva	0,000 (0,000)	-0,120* (0,082)	-0,122* (0,077)	0,000 (0,000)
Vazão de água para Indústria	0,000 (0,000)	0,040 (0,049)	0,042 (0,050)	0,000 (0,000)
Disponibilidade Hídrica	-0,001* (0,000)	-0,147** (0,081)	-0,124* (0,086)	0,000 (0,000)
Relevo Classificação IBGE - 01	0,005 (0,007)	-0,005 (0,066)	-0,009 (0,063)	0,017 (0,017)
Relevo Classificação IBGE - 02	0,120 (0,079)	0,068 (0,071)	0,084 (0,073)	0,494* (0,267)
Relevo Classificação IBGE - 03	-0,037* (0,020)	-0,052 (0,068)	-0,092 (0,069)	-0,060 (0,048)
Solo	0,012 (0,010)	0,070 (0,057)	0,065 (0,058)	0,010 (0,022)
Rho		0,019*** (0,006)	0,115*** (0,032)	

Elaboração Própria. Nível de Significância 1%, 5%, 10%: ***, **, *.

Nota 1: *Probit* Não Espacial: Variável Dependente: *Dummy* Minerador; N.obs: 853. Log likelihood = -310,24.

Nota 2: *Probit* Espacial Autoregressivo Bayesiano: ndraws, nomit = 1500, 150. Para realização da estimação do modelo *Probit* espacial as variáveis população 2010, IDHM 1991, área, % Mão de obra mineradora 1991, altitude, chuva, vazão de água industrial e disponibilidade hídrica foram transformadas pela distribuição *t-student*.

Tabela 6. Estatísticas dos *Propensity Scores* (*pscores*) estimados – Minas Gerais – 2010

	Não Espacial	Rainha ordem 1	NN6
Média	0,198	0,194	0,194
Mediana	0,174	0,171	0,176

Elaboração Própria.

zinhos de primeira ordem, por estarem mais próximos, beneficiariam-se ou sofreriam com a presença da mineração no município sede. Dessa forma evitamos estabelecer um número de vizinhança fixo.

O cálculo de impacto direto da mineração no IDHM e seus subíndices são apresentados abaixo na Tabela 7. Para Minas Gerais, foram utilizados os modelos com escore espacial. No caso do Pará, os modelos foram ponderados sem considerar a espacialidade. O símbolo (C) denota a utilização de variáveis de controle na regressão. Desta forma a tabela permite comparar o impacto de forma temporal, regional e retirando os efeitos indiretos advindos dos fatores exógenos utilizados no modelo *Probit*.

Os resultados de Minas Gerais apontam para um efeito positivo e significativo da mineração em desenvolvimento. Os parâmetros obtidos nas regressões com controle são de 0,010 pontos no IDHM em 2000 e 0,007 pontos em 2010. Nota-se que ambos são favorecidos pelo efeito renda e educação. No caso do Pará, os efeitos são de 0,018 e 0,024, respectivamente. Em termos comparativos, a diferença não foi estatisticamente significativa para os anos 2000. Já para o ano de 2010, há diferença significativa, o que corrobora o caráter diferenciado do desenvolvimento da atividade no Pará, com efeitos crescentes dado o perfil recente da atividade e o elevado grau de inércia do indicador de desenvolvimento. Novamente, a longevidade é o fator de menor efeito no IDHM, porém, nesse caso, o parâmetro encontrado deixa de ser significativo a 5%, indicando um efeito nulo da atividade sobre saúde. Nota-se também que os efeitos são maiores nas regressões com ausência de controle. Esses resultados apontam para um impacto em desenvolvimento crescente no Pará, algo condizente com o estágio de desenvolvimento da atividade na região e a inércia dos seus efeitos nos indicadores do IDH. No caso mineiro, os impactos são positivos e aparentam estar, em média, consolidados.

Tabela 7. Impacto direto da mineração no IDHM e seus subíndices

Variável Dependente	Minas Gerais		Pará	
	2000	2010	2000	2010
IDHM	0,0309*** (0,006)	0,0252*** (0,005)	0,0232 (0,016)	0,0267* (0,014)
IDHM (C)	0,00946*** (0,002)	0,00744*** (0,002)	0,0181** (0,009)	0,0235*** (0,009)
IDHMR	0,0330*** (0,006)	0,0301*** (0,005)	0,0287* (0,016)	0,0273* (0,014)
IDHMR (C)	0,0157*** (0,004)	0,0126*** (0,003)	0,0210* (0,012)	0,0223** (0,009)
IDHML	0,0111*** (0,003)	0,0111*** (0,003)	0,00385 (0,008)	0,00902* (0,005)
IDHML (C)	0,00718*** (0,003)	0,00461** (0,002)	0,000703 (0,007)	0,00744* (0,005)
IDHME	0,0521*** (0,009)	0,0441*** (0,007)	0,0273 (0,020)	0,0398* (0,022)
IDHME (C)	0,0257*** (0,005)	0,0220*** (0,004)	0,0241** (0,011)	0,0377*** (0,014)
Observações	853	853	139	139

Erro padrão robusto entre parêntesis*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Nota: (C) indica regressão com utilização de variáveis de controle.

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 8 mostra a estimação desses parâmetros para Minas Gerais com a utilização do escore de propensão obtido com as matrizes de vizinhança rainha de primeira ordem.

Tabela 8. Efeito Indireto da mineração no IDHM e seus subíndices - 2010

	Minas Gerais		Pará	
	Minerador	Vizinhança Mineradora	Minerador	Vizinhança Mineradora
IDHM	0,0214*** (0,005)	0,0229** (0,010)	0,0205 (0,013)	0,0710* (0,042)
IDHM (C)	0,00747*** (0,002)	-0,00026 (0,005)	0,0217** (0,009)	0,0232 (0,025)
IDHMR (C)	0,0118*** (0,003)	0,00850 (0,006)	0,0189* (0,010)	0,0425 (0,034)
IDHML (C)	0,00462** (0,002)	-0,00012 (0,005)	0,00559 (0,005)	0,0232 (0,017)
IDHME (C)	0,0218*** (0,004)	0,00217 (0,010)	0,0354** (0,014)	0,0290 (0,039)
Observações	853	853	139	139

Erros padrão robustos entre parêntesis*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Nota: (C) indica regressão com utilização de variáveis de controle.

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados dos dois estados para o ano de 2010 apontam para um mesmo fenômeno: o efeito nulo das externalidades na vizinhança (“neutralidade” das externalidades). Isso ocorre tanto no índice geral quanto nos subíndices de desenvolvimento. Nota-se, inicialmente que a regressão com controles diminui o efeito direto da mineração no caso mineiro, enquanto, no caso paraense, ocorre o inverso, isto é, o efeito incondicional é insignificante, porém se torna positivo na regressão com uso de variáveis de controle. Analisando a significância do parâmetro β_1 nas diversas regressões tem-se que em Minas Gerais o resultado é positivo e significativo, e no Pará o mesmo ocorre a 5% de significância. Quanto ao parâmetro β_2 , como foi destacado, nenhum resultado é significativo nas relações com variáveis de controle, indicando que a atividade mineradora tem um efeito geral neutro em termos de externalidade, com equilíbrio entre os efeitos positivos e negativos.

De forma a complementar a análise do impacto de mineração sobre desenvolvimento, mensura-se o impacto no indicador de desigualdade de renda: razão da renda dos 10% mais ricos e dos 40% mais pobres. A Tabela 9 revela não haver efeito significativo da *dummy* de município minerador para os dois estados. Não houve um aumento da desigualdade entre os períodos em virtude do aquecimento da economia causado pelo *boom* das *commodities* e seu relativo efeito renda.

Por um lado, esse resultado é contrário às evidências trazidas por (McMahon e Moreira, 2014; Zambrano et al., 2014; Loayza e Rigolini, 2016) de que a mineração é concentradora de renda e indutora de desigualdade. Por outro lado, está em confor-

Tabela 9. Efeito da mineração na razão de desigualdade 10/40

	Minas Gerais		Pará	
	2000	2010	2000	2010
Razão 10/40	-0.582 (0.539)	0.386 (0.348)	3.993* (2.385)	2.391 (3.071)
Razão 10/40 (C)	-0.649 (0.555)	-0.178 (0.323)	3.004* (1.623)	1.678 (2.564)
Observações	853	853	139	139

Erros padrão robustos entre parêntesis*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

Nota: (C) indica regressão com utilização de variáveis de controle.

Fonte: Elaboração própria.

midade com os achados de (Reeson et al., 2012) para a Austrália, no sentido de que há uma sensibilidade temporal para o efeito em desigualdade, que tende a ser maior quando a produção está em um estágio intermediário de desenvolvimento. O que não é o caso das atividades incipientes – Pará, nem das consolidadas – Minas Gerais. Outro fator relevante para essa medida é que os altos salários da atividade podem estar concentrados nas matrizes ou nas sedes de empresas localizadas em São Paulo ou no Rio de Janeiro, por exemplo. Isso faria com que o valor gerado fosse vazado para demais estados, deixando de afetar a renda *per capita* das famílias de trabalhadores da mineração, tornando o impacto em desigualdade municipal nulo.

6. Considerações Finais

A relevância econômica da extração mineral motivou a avaliação socioeconômica de impacto da atividade sobre o desenvolvimento nas regiões produtoras e suas vizinhanças. Se, por um lado, a mineração concilia alta geração de valor e externalidades positivas via geração de emprego e renda, por outro lado, há externalidades negativas socioeconômicas e ambientais que tornam seu impacto resultante incerto. Avaliou-se o impacto da atividade mineral no desenvolvimento municipal dos estados de Minas Gerais e do Pará, comparando os anos de 2010 e 2000. Esse impacto foi mensurado em IDHM e seus subíndices de duas formas: qualificando o impacto direto no município sede e o efeito médio das externalidades da mineração nos municípios vizinhos. Além disso, mensurou-se o efeito da mineração na razão 10% mais ricos 40% mais pobres, indicador de desigualdade de renda.

A análise do impacto direto da mineração em IDHM revelou efeito positivo para o caso de Minas Gerais em ambos os períodos. Com relação aos subíndices, todos os efeitos se mostraram positivos. No caso do Pará, os efeitos são positivos, maiores em 2010, e ambos superiores aos de Minas Gerais. Em termos comparativos, a diferença não foi estatisticamente significativa para os anos 2000. Já para o ano de 2010, há diferença significativa, o que corrobora o caráter diferenciado do desenvolvimento da atividade no Pará, com efeitos maiores dado o perfil recente da atividade. O impacto nos subíndices mostra que o efeito é concentrado na renda e na educação, sem efeito

significativo na longevidade. A análise do impacto da presença de vizinhança mineradora tem efeito positivo sobre o IDHM e subíndices do município central somente se não utilizamos na estimação variáveis de controle. Isso significa que não há benefício em ser vizinho de um município intensivo em mineração, não há efeitos positivos de externalidades impactando o IDHM e seus subíndices. Esse resultado ocorre também no caso paraense, considerando que o efeito em IDHM sem controles acontece somente ao nível de significância de 10%.

Quanto ao impacto em desigualdade, não há efeito significativo da atividade no índice de razão 10/40 em Minas Gerais, considerando 2000 e 2010. No caso do Pará, não há efeito positivo para razão 10/40 mensurado no ano de 2000, a 5% de significância. Esse resultado pode estar relacionado com o efeito dose de mineração em Minas Gerais e no Pará. Em corroboração à literatura citada anteriormente não foram encontrados efeitos de desigualdade nesses exemplos de exploração consolidada e recente. Esses autores acharam resultados positivos somente para níveis intermediários de desenvolvimento produtivo.

Em suma, o conjunto de resultados indica em primeiro lugar que, em média, a extração mineral impacta positivamente os municípios sede da atividade em termos de renda e educação. O efeito em longevidade, por sua vez, foi ambíguo, sendo positivo apenas no caso do Sudeste. A diferença no coeficiente de impacto no índice geral de IDHM entre o caso paraense e mineiro reforça que seu efeito é maior no caso do Norte, onde o indicador era inferior e a mineração mais recente. Em segundo lugar, foram encontrados impactos nulos do efeito de vizinhança mineradora, corroborando a literatura que aponta pouca interrelação (poder de arrasto) da mineração com o restante da economia. Esse resultado evidencia a concentração espacial dos seus efeitos socioeconômicos à sede. Em terceiro lugar, a despeito do efeito médio positivo em renda destacado nos municípios mineradores, não foi encontrado efeito médio no indicador de desigualdade razão 10% mais ricos - 40% mais pobres. Além desses apontamentos, destaca-se que não houve um efeito temporal destacado, como um efeito superior da mineração para o ano de 2010 em relação ao ano 2000, o que se suspeitava, tendo em vista o *boom* das commodities ocorrido à época.

Conclui-se, portanto, que a atividade mineradora tem um papel relevante na economia dos municípios mineiros e paraenses em virtude da sua alta geração de valor e renda, o que afeta positivamente o desenvolvimento municipal, muito em virtude do repasse de *royalties* para saúde e educação, por exemplo. Os resultados não corroboraram apenas que há rigidez locacional em virtude da presença mineral, mas também que, em média, os benefícios socioeconômicos da atividade se concentram espacialmente, sem geração de externalidades positivas nem negativas na vizinhança. Isto se dá simultaneamente ao fato de que a atividade é inerentemente arriscada, com possibilidade de rompimento de barragens, derrubada de resíduos no meio ambiente, dentre outros fatores que podem danificar profundamente a comunidade local. Esse panorama geral é relevante do ponto de vista da política pública, pois reflete que o valor

econômico e social gerado com a mineração não está sendo transmitido à vizinhança. Ainda que resultados negativos não tenham sido apontados, pode-se considerar que o efeito nulo seja indesejável do ponto de vista do desenvolvimento social, dada a finitude dos recursos naturais e o reforço a um modelo de desenvolvimento municipal com resultados desiguais, que ocorre a despeito da estrutura de *royalties* destinar 23% da arrecadação para os estados.

Por fim, ressalta-se que o Decreto nº 9.406/2018 publicado dia 13 de junho de 2018 reestabeleceu a divisão de CFEM entre os entes federativos. Municípios afetados pela atividade, mas não produtores, passam a receber 15% da CFEM (metade dos recostos destinados para aqueles onde estão ferrovias, um terço onde há barragens e plantas de beneficiamento, 15% onde há portos e 5% minerodutos). Os municípios mineradores que antes recebiam 65% passam a receber 60% do CFEM. Os estados têm sua porcentagem diminuída de 23% para 15% e a União de 12% para 10%. Essa nova configuração da distribuição de *royalties* tem potencial para reverter o efeito neutro do impacto mensurado para o entorno dos municípios mineradores e deve compor o programa de pesquisa de avaliação de impacto da mineração em desenvolvimento em futuros estudos.

Referências

- Amaral, P. V., Anselin, L., e Arribas-Bel, D. (2013). Testing for spatial error dependence in probit models. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 6(2):91–101.
- ANA, A. N. d. A. (2006). *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. ANA.
- Angrist, J. D. e Pischke, J.-S. (2009). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton university press.
- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: methods and models*, volume 4. Springer Science & Business Media.
- Anselin, L. (2003). Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics. *International regional science review*, 26(2):153–166.
- Bang, H. e Robins, J. M. (2005). Doubly robust estimation in missing data and causal inference models. *Biometrics*, 61(4):962–973.
- Barreto, M. L. et al. (2001). Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o brasil.
- Becker, S. O. e Ichino, A. (2002). Estimation of average treatment effects based on propensity scores. *The stata journal*, 2(4):358–377.
- Brasil, A. (2013). Atlas do desenvolvimento humano no brasil 2013.

- Brasil, E. U. R. (2016). *O novo código de mineração no Brasil: uma análise econômica da compensação financeira sobre a exploração dos recursos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Candeias, C., Ávila, P., Coelho, P., e Teixeira, J. P. (2018). Mining activities: health impacts. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, Página 1–21.
- Chagas, A. L. S., Toneto, R., e Azzoni, C. R. (2012). A spatial propensity score matching evaluation of the social impacts of sugarcane growing on municipalities in Brazil. *International Regional Science Review*, 35(1):48–69.
- Dantas, R. S., Tannuri-Piant, M. E., et al. (2014). Avaliação de impacto de reconhecimento de direito de propriedade de facto: uma análise de propensity score matching. In: *Anais do XLI Encontro Nacional de Economia [Proceedings of the 41st Brazilian Economics Meeting]*, number 183. ANPEC-Associação.
- de Andrade, M. S. B. et al. (2010). Impactos socioeconômicos da grande mineração nos municípios de Minas Gerais. In: *Anais do XIV Seminário sobre a Economia Mineira [Proceedings of the 14th Seminar on the Economy of Minas Gerais]*. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais.
- DNPM, D. N. d. P. M. (2017). Informe Mineral do primeiro semestre de 2017. Texto para discussão.
- Dubin, R. A. (1998). Spatial autocorrelation: a primer. *Journal of housing economics*, 7(4):304–327.
- Elhorst, J. P. (2010). Applied spatial econometrics: raising the bar. *Spatial economic analysis*, 5(1):9–28.
- Enríquez, M. A. R. d. S. (2007). Maldição ou dádiva? os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira.
- Felippe, M. F., Costa, A., Franco, R., e Matos, R. (2016). A tragédia do rio doce: A lama, o povo e a água. relatório de campo e interpretações preliminares sobre as consequências do rompimento da barragem de rejeitos de fundão (samarco/valle/bhp). *Revista GEOgrafias*, Página 63–94.
- Fleming, M. M. (2004). Techniques for estimating spatially dependent discrete choice models. In: *Advances in spatial econometrics*, Página 145–168. Springer.
- Harris, R. (2011). Models of regional growth: past, present and future. *Journal of economic surveys*, 25(5):913–951.
- Heckman, J. J., Ichimura, H., e Todd, P. (1998). Matching as an econometric evaluation estimator. *The review of economic studies*, 65(2):261–294.
- IBRAM (2015). Água e Mineração: Fatos e verdades. Texto para discussão.

- Imbens, G. W. e Wooldridge, J. M. (2009). Recent developments in the econometrics of program evaluation. *Journal of economic literature*, 47(1):5–86.
- Kelejian, H. H. e Prucha, I. R. (2001). On the asymptotic distribution of the moran i test statistic with applications. *Journal of Econometrics*, 104(2):219–257.
- LeSage, J. P. (1997). Regression analysis of spatial data. *Journal of Regional Analysis and Policy*, 27(1100-2016-89650):83–94.
- Loayza, N. e Rigolini, J. (2016). The local impact of mining on poverty and inequality: evidence from the commodity boom in peru. *World development*, 84:219–234.
- Mansur, M. S., Wanderley, L. J., Milanez, B., Santos, R. S. P. d., Pinto, R. G., Gonçalves, R., e Coelho, T. P. (2016). Antes fosse mais leve a carga: introdução aos argumentos e recomendações referentes ao desastre da samarco/vale/bhp billiton. *Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP Billiton*, Página 17–49.
- McMahon, G. e Moreira, S. (2014). The contribution of the mining sector to socio-economic and human development.
- Monteiro, M. d. A. (2004). Amazônia: mineração, tributação e desenvolvimento regional.
- Petrie, J. (2007). New models of sustainability for the resources sector: a focus on minerals and metals. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(1):88–98.
- Pinkse, J. (1999). Asymptotics of the moran test and a test for spatial correlation in probit models.
- Pinkse, J. (2004). Moran-flavored tests with nuisance parameters: examples. In: *Advances in Spatial Econometrics*, Página 67–77. Springer.
- Pinkse, J. e Slade, M. E. (1998). Contracting in space: An application of spatial statistics to discrete-choice models. *Journal of Econometrics*, 85(1):125–154.
- Reeson, A. F., Measham, T. G., e Hosking, K. (2012). Mining activity, income inequality and gender in regional australia. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 56(2):302–313.
- Rosenbaum, P. R. e Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1):41–55.
- Rubin, D. B. (1977). Assignment to treatment group on the basis of a covariate. *Journal of educational Statistics*, 2(1):1–26.
- Seliar, C. (1998). Amianto: mineral mágico ou maldito? ecologia humana e disputa político-econômica. In: *Amianto: mineral mágico ou maldito? Ecologia humana e disputa político-econômica*, Página 152–152.

- Silva, M. A. R. d. e Drummond, J. A. (2005). Certificações socioambientais: desenvolvimento sustentável e competitividade da indústria mineira na amazônia. *Cadernos EBAPE. BR*, 3:01–21.
- Simonato, T. C., Magalhães, A. S., e Domingues, E. P. (2017). St 4 desastres urbanos e a conjuntura econômica: O caso de mariana-mg. *Anais ENANPUR*, 17(1).
- Smith, J. A. e Todd, P. E. (2005). Does matching overcome lalonde's critique of nonexperimental estimators? *Journal of econometrics*, 125(1-2):305–353.
- Viana, J. (2016). Os pescadores da bacia do rio doce: subsídios para a mitigação dos impactos socioambientais do desastre da samarco em mariana. *Minas Gerais*. Disponível em: < <http://ipea.gov.br/portal/index.php>.
- Wooldridge, J. M. (2002). Econometric analysis of cross section and panel data mit press. *Cambridge, MA*, 108(2):245–254.
- Zambrano, O., Robles, M., e Laos, D. (2014). Global boom, local impacts: mining revenues and subnational outcomes in peru 2007-2011. Texto para discussão, IDB Working Paper Series.

Agradecimentos

O autor agradece ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.