

Uma nota sobre o impacto das Unidades de Polícia Pacificadora (UPP) no município do Rio de Janeiro com o uso de controle sintético*

IAGO DE AZEVEDO ROCHA MAIA[†]
ALEXANDRE MARINHO[‡]

Sumário

1. Introdução	15
2. Revisão da literatura	17
3. Análise descritiva dos homicídios no Brasil	18
4. O controle sintético	18
5. O modelo executado	21
6. Discussão dos resultados	21
7. Considerações finais	25
Apêndice A. Apresentação do modelo formal de controle sintético	27

Palavras-chave

segurança pública, homicídios, unidades de polícia pacificadora (UPP), controle sintético, Rio de Janeiro

JEL Codes

C21, D78, K40, K42

Resumo • Abstract

O presente texto visa avaliar o efeito causado pelo programa das Unidades de Polícia Pacificadora (UPP) na taxa de homicídios no município do Rio de Janeiro. Foi utilizado o modelo de controle sintético para calcular esse efeito. O método permitiu criar um Rio de Janeiro sintético, ou seja, como seria o Rio de Janeiro caso o programa das UPP não tivesse sido implementado o que permitiu avaliar os resultados do programa. A implantação das UPP reduziu os homicídios na cidade do Rio de Janeiro no período de análise (1999–2016).

1. Introdução

A segurança pública é um dos grandes problemas para a população brasileira em geral. De acordo com uma pesquisa feita pelo Instituto Datafolha¹ com eleitores, durante as

*Agradecemos os comentários de um revisor anônimo. Todos os eventuais erros remanescentes são de nossa total responsabilidade.

[†]Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Rua São Francisco Xavier 524,, 8º andar, Maracanã, RJ, CEP 20550-900, Brasil.  0000-0003-2215-410X

[‡]Técnico de Planejamento e Pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Rua São Francisco Xavier 524,, 8º andar, Maracanã, RJ, CEP 20550-900, Brasil.  ORCID 0000-0001-9152-3584

 iagomaia96@gmail.com  alexandre.marinho@ipea.gov.br

¹<https://www1.folha.uol.com.br/poder/2018/09/para-eleitores-saude-e-violencia-sao-os-principais-problemas-do-pais.shtml>

eleições de 2018, a violência é o principal problema para 20% dos eleitores, ficando atrás somente da saúde, que seria a principal preocupação para 23% dos eleitores. O Brasil vive, indiscutivelmente, um problema grave no setor da segurança pública. No ano de 2017 apresentou 63.895 mortes violentas intencionais, o que representa uma taxa de 30,8 por 100 mil habitantes uma das mais elevadas do mundo.² De acordo com os dados da UNODC³ (*United Nations Office on Drugs and Crime*), o Brasil aparece em oitavo lugar em uma lista de 99 países que possuem informações disponíveis da taxa de homicídios intencionais, por 100 mil habitantes, no ano de 2016. Na lista estão: El Salvador (82,8), Honduras (56,5), Venezuela (56,3), Jamaica (47), Belize (37,6), São Vicente e Granadinas (36,5), África do Sul (34) e Brasil (29,5). Outro exemplo de como o tema da segurança é importante é o custo gerado pela violência. *Cerqueira (2013)* estimou esse custo em 6,08% do PIB ao ano.

Como o Brasil sofre com esse problema há muito tempo, ocorrem, com frequência, iniciativas e programas para tentar melhorar a segurança pública. No caso do estado do Rio de Janeiro, o programa mais importante foi o que se convencionou chamar de “Unidades de Polícia Pacificadora (UPP)” que foi lançado no ano de 2008. O primeiro local a receber o programa foi a comunidade do Morro Dona Marta, que fica na cidade do Rio de Janeiro.

O objetivo desse trabalho visa avaliar o impacto do programa das UPP na taxa de homicídios intencionais do município do Rio de Janeiro. A análise foi feita utilizando um modelo comparativo de estudo de casos. São comparados resultados obtidos em unidades submetidas a um evento ou intervenção (o grupo tratado) com os resultados obtidos em um grupo não tratado (o grupo de controle). O método é chamado de controle sintético (*synthetic control*) descrito em *Abadie e Gardeazabal (2003)* e em *Abadie, Diamond, e Hainmueller (2010)*, e será detalhado mais adiante, neste texto. Ao contrário de métodos comuns de tratamento-controle, que costumam escolher grupos de controle de modo *ad hoc*, o controle sintético tem três características básicas especiais: um método de criação de grupos de controle produzido pelos dados; um arcabouço para testar a adequação do referido grupo de controle; e a produção de inferências quantitativas.

Basicamente, no presente texto, com o uso do controle sintético, foi criado um Rio de Janeiro Sintético, que representaria a cidade na ausência da intervenção (a implantação das UPP) e um Rio de Janeiro Original que, de fato, recebeu as UPP. Com a criação dessa cidade sintética é possível comparar essas duas “cidades” e verificar o impacto da intervenção sobre a criminalidade violenta na cidade.

O trabalho está dividido em mais sete partes, além desta introdução. A *seção 2* apresenta a literatura econômica utilizada para analisar as UPP. Na *seção 3*, consta uma descrição dos homicídios no estado do Rio de Janeiro em comparação com o

²<http://www.forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Anuario-Brasileiro-de-Seguran%C3%A7a-P%C3%BAblica-2018.pdf>

³<https://dataunodc.un.org/crime/intentional-homicide-victims>

país. Na [seção 4](#) são apresentados os detalhes dos modelos de controle sintético. A [seção 5](#) exibe o modelo executado no presente texto. Na [seção 6](#) são apresentados e discutidos os resultados do modelo. Na [seção 7](#) são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2. Revisão da literatura

A literatura com algum caráter econômico, ou econométrico, avaliando os impactos das UPP sobre as taxas de criminalidade é escassa. Destacamos cinco artigos sobre o tema: O trabalho de [Cano et al. \(2012\)](#) investigou o impacto das UPP sobre três pontos: a criminalidade; a relação da polícia com a comunidade; e a percepção dos moradores. A pesquisa utilizou os documentos oficiais das UPP, registros da polícia civil, entrevistas com moradores, e resultados de outras pesquisas relacionadas com as UPP. A conclusão do trabalho é que as UPP trazem a queda dos homicídios dolosos, mortes pela polícia e roubos, porém com aumento do número de desaparecimentos, furtos e de registros de violência não letal como: lesões, violência doméstica e ameaças. [Jesus, Gomes, e Angulo-Meza \(2014\)](#) avaliam a eficiência operacional (eficiência técnica) de UPP. A avaliação coteja um recurso (input): a quantidade de policiais em exercício em cada uma das UPP, com quatro resultados (outputs) obtidos em cada uma dessas unidades: população beneficiada; total de ocorrências de crimes violentos; total de ocorrência de crimes contra o patrimônio; e outros registros criminais (ameaça—vítimas, pessoas desaparecidas, resistência com morte do opositor—auto de resistência, policiais militares mortos em serviço, policiais civis mortos em serviço). Um modelo de programação matemática calculou os valores eficientes no sentido de Pareto para os diferentes outputs e para o input usados no estudo. A conclusão geral é de que haveria espaço para manter os resultados positivos obtidos e, concomitantemente, fazer uma redução dos efetivos policiais empregados nas UPP. Em [Butteli \(2015\)](#) foi utilizado o modelo de diferenças-em-diferenças para avaliar o impacto das UPP sobre o crime nas regiões do estado do Rio de Janeiro, utilizando como unidade de observação as delegacias de polícia. A pesquisa usou os microdados da polícia civil. Entre os resultados em destaque estão a diminuição dos autos de resistências com queda entre 24% e 60%; queda na letalidade violenta entre 28% e 36%; homicídios dolosos com queda entre 19% e 35%, e também com efeitos expressivos sobre roubos a transeuntes, roubos de rua e roubo de veículos. O trabalho de [Pessoa \(2016\)](#) utilizou o método de diferenças-em-diferenças e usou as delegacias como unidades de observação. O IDH foi utilizado como uma variável de controle e concluiu que o programa das UPP causou queda da taxa de homicídios do ano de 2003 até o ano de 2008 e que após 2009, ano em que a primeira UPP já estava implantada, essa queda se intensificou. Além disso, o IDH possui uma relação negativa com o crime (homicídio doloso). [Almeida, Gonzales, Souza, Barbosa, e Lopes \(2018\)](#) utilizam modelos econométricos de dinâmica espacial (*neighboring*)

e diferenças-em-diferenças, para avaliar os efeitos das UPP em um modelo onde as taxas de homicídios nas áreas de policiamento que receberam as UPP, foram comparadas com aquelas que não receberam UPP, antes e depois das intervenções. O estudo revelou que a implantação das UPP, em geral, reduziu as taxas de homicídios, mas que efeitos sutis na dinâmica da criminalidade podem ser detectados nas vizinhanças delas, dado que alguns efeitos aumentativos dos crimes puderam ser estimados em áreas contíguas das UPP.

3. Análise descritiva dos homicídios no Brasil

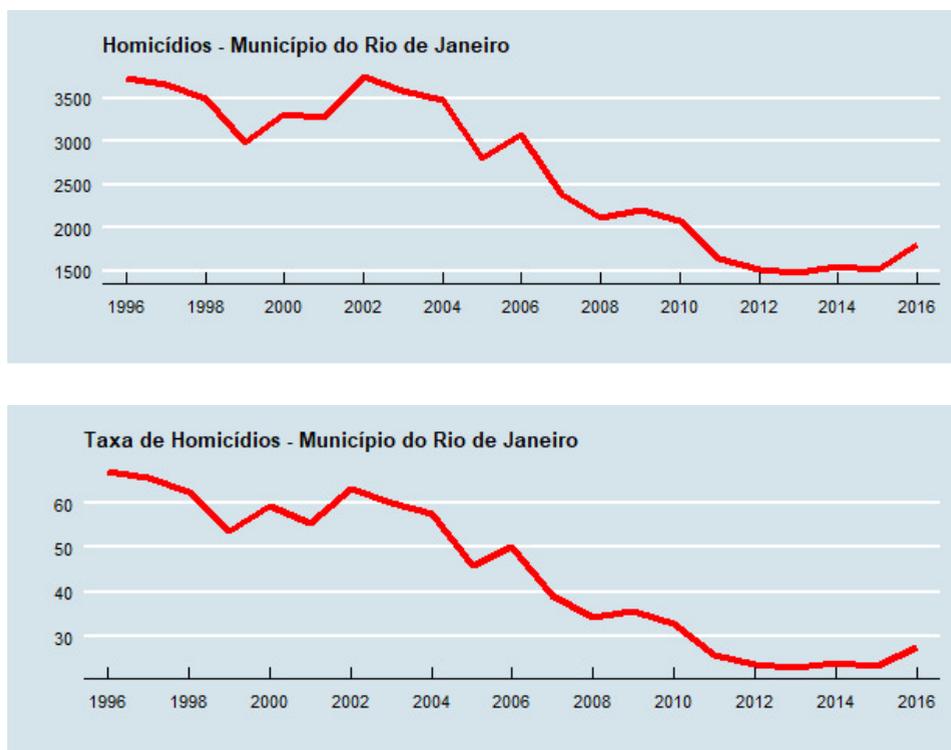
Nesta seção é apresentado um breve e resumido histórico de homicídios no Brasil e na cidade do Rio de Janeiro, RJ. Pode-se observar que a cidade do Rio de Janeiro passou por uma queda nos homicídios e também na taxa de homicídios. No ano de 1996, a cidade tinha 3.742 homicídios e uma taxa de homicídios 67 por 100 mil habitantes e no ano de 2016, a cidade passou a ter 1.802 homicídios e uma taxa de 27,7 por 100 mil habitantes. Uma queda de 51,8% nos homicídios e de 58,7% para a taxa de homicídios nesse período. A [Figura 1](#) apresenta o histórico dos homicídios da cidade do Rio de Janeiro.

A cidade do Rio de Janeiro, com tendência decrescente nos homicídios, seguiu um padrão diferente do Brasil, que teve tendência crescente. Isso pode ser visto nos gráficos da [Figura 2](#).

Os gráficos mostram, claramente, a tendência de crescimento do número de homicídios e da taxa de homicídios no país. O Brasil, no ano de 1996 tinha 38.934 homicídios com uma taxa de homicídios de 25,1 por 100 mil habitantes e, no ano de 2016, 62.526 homicídios e uma taxa de 30,4 por 100 mil habitantes. A análise exploratória anterior poderia ser tomada como indicação de que, talvez, o programa das UPP tenha contribuído para a diminuição da violência na cidade do Rio de Janeiro, mas não é possível inferir causalidade apenas pelos gráficos, já que existe uma série de outras variáveis que mudaram nesse período e que podem ter influenciado a queda na violência.

4. O controle sintético

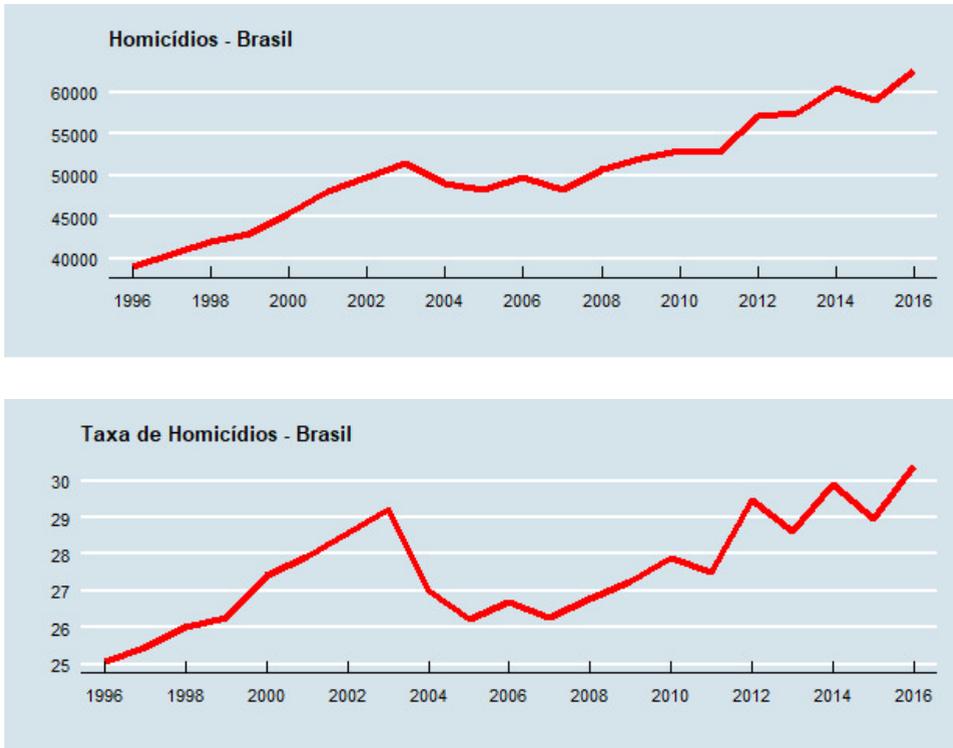
O modelo de controle sintético que utilizamos tem como referência o artigo seminal de [Abadie e Gardeazabal \(2003\)](#). Nesse artigo foi aplicado o modelo para verificar o quanto o terrorismo impactou o PIB per capita do País Basco, uma região da Espanha que convivia com os ataques do grupo separatista ETA (Pátria Basca e Liberdade). Além disso, foi aplicado o teste placebo, que é uma análise para verificar se os resultados do controle sintético são convincentes. O estudo criou um País Basco sintético que é, na realidade, uma média ponderada de diversas outras regiões da



Fonte: DATASUS.

Figura 1. Homicídios e taxa de homicídios do Município do Rio de Janeiro.

Espanha e também controlado a partir de algumas variáveis como: PIB per capita real, investimento/PIB, densidade populacional, as participações dos setores da economia, e a participação dos grupos por educação (analfabeto, sem estudo primário, com ensino médio e acima de ensino médio). Também é necessário definir o momento do tratamento e, no caso do estudo, o ano utilizado foi 1975, ano em que as atividades do ETA se intensificaram. Com isso, pode-se observar o comportamento do PIB per capita ao longo do tempo. No período anterior ao do tratamento a variável PIB per capita deveria registrar o mínimo de diferença possível entre País Basco e o País Basco Sintético. Caso o tratamento ocorrido no ano de 1975 (intensificação das atividades terroristas do ETA) tivesse algum efeito, o País Basco e o País Basco Sintético deveriam ter PIB per capita diferentes, como efetivamente foi comprovado no estudo. A partir do ano de 1975 o País Basco apresenta menores níveis de PIB per capita do que o País Basco Sintético, o que significa que o terrorismo teve um efeito negativo sobre a atividade econômica da região. Após isso foi aplicado um “placebo” utilizando a região da Catalunha que não sofreu o tratamento, com o intuito de avaliar se realmente foi o terrorismo que gerou a diferença entre o país Basco e o grupo sintético o que também foi verificado no trabalho. Entre as aplicações de



Fonte: DATASUS.

Figura 2. Homicídios e taxa de homicídios do Brasil.

controle sintético na avaliação de intervenções sobre a criminalidade destacamos Saunders, Lundberg, Braga, Ridgeway, e Miles (2015); Robbins, Saunders, e Kilmer (2017); e Donohue, Aneja, e Weber (2017).

No presente trabalho avaliaremos se as UPP tiveram impacto sobre a taxa de homicídios (a variável dependente) da cidade do Rio de Janeiro. Então, construímos um Rio de Janeiro Sintético, baseado nas demais capitais do país (o *donor pool*) para comparar com o Rio de Janeiro Original. A construção do modelo foi feita comparando o município do Rio de Janeiro com outras capitais do país e o Distrito Federal, para deixar a amostra razoavelmente homogênea, o que não ocorreria se utilizássemos todos os municípios brasileiros, conforme recomendação de Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond, e Hainmueller (2015). Abadie et al. (2015) afirmam que: “*To reduce interpolation biases, we recommend restricting the donor pool to units that are similar to the one representing the case of interest.*”

A apresentação formal do método pode ser encontrada em Abadie, Diamond, e Hainmueller (2011) e está apresentada no Apêndice A do presente trabalho.

5. O modelo executado

A presente seção deste trabalho utilizou o DATASUS e o IBGE como fontes dos dados. No DATASUS foram obtidas informações sobre a evolução da população; Produto Interno Bruto – PIB, homicídios; suicídios; suicídios por projétil de arma de fogo; morte por uso de drogas exceto álcool; e morte por uso de álcool. O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA foi obtido no IBGE.

De acordo com [Cerqueira \(2010\)](#) as variáveis suicídios e mortes por uso de drogas serão usadas como proxy, respectivamente, para a difusão das armas e do tamanho do mercado de drogas. As mortes por uso de álcool serão usadas como proxy para a demanda por álcool e, efetivamente, as variáveis que usamos são: proporção de suicídios por arma de fogo em relação ao número de suicídios total; mortes por uso de drogas por 100 mil habitantes; e mortes por uso de álcool por 100 mil habitantes. Além disso, foi usado o PIB per capita real. Todas são variáveis recorrentemente utilizadas na literatura para explicar a taxa de homicídios ([Cerqueira, 2010](#)). Para conseguir os dados de homicídios no DATASUS foi necessário aplicar um filtro na parte de óbitos por causas externas.⁴

As covariáveis utilizadas foram: PIB per capita real; taxa de abuso de drogas; taxa de abuso de álcool; a proxy para quantidade de armas de fogo que existem na região; o logaritmo natural da taxa de homicídios no ano de 2004; o logaritmo natural da taxa de homicídios no ano de 2008 (essas duas últimas variáveis defasadas servem para gerar um melhor ajuste das curvas antes do tratamento conforme ([Abadie et al., 2010](#))). O modelo e o tratamento dos dados foram executados no software *Synth package*, disponível em <http://CRAN.R-project.org/package=Synth> e descrito em [Abadie et al. \(2011\)](#).

6. Discussão dos resultados

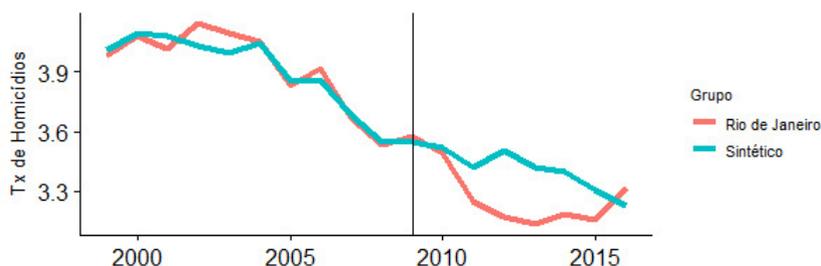
A [Tabela 1](#) exibe os valores das principais variáveis utilizadas, registradas no município do Rio de Janeiro, no Rio de Janeiro sintético, e na média amostral. Os valores são muito próximos, indicando um bom ajuste, o que também pode ser visto na [Figura 3](#). As taxas são por 100.000 habitantes.

Na [Figura 3](#) são apresentadas as curvas com o Rio de Janeiro Sintético (sem as UPP) e o Rio de Janeiro Original.

⁴No filtro para homicídios temos: X85-X99; Y00-Y09; Y35-Y36; e W50. Esses códigos representam os instrumentos utilizados na morte, entre eles estão: envenenamento; enforcamento; afogamento; PAF (Projétil de Arma de Fogo); impacto; fogo; perfurante; contundente e desconhecido ([Cerqueira, 2013](#)). Os códigos de suicídios são: X60-X84 (suicídios por armas de fogo recebem os códigos X72-X74). Os códigos de morte por abuso de drogas são: F11; F14; F16; F19; R78; T40; T43-T44; X42; X62. Os códigos de morte por abuso de álcool são: F04; F05; T51; X45; X65; Y15; Y90-Y91.

Tabela 1. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro Sintético, e média amostral.

Variáveis	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro Sintético	Média Amostral
PIB per capita (R\$)	39715	34382	25843
Abuso de Álcool	3,303	3,759	3,746
Abuso de Drogas	13,025	12,901	13,188
Armas de Fogo	15,384	16,214	15,179
Ln (Taxa de Homicídios em 2004)	4,052	4,045	3,599
Ln (Taxa de Homicídios em 2008)	3,533	3,545	3,688

**Figura 3.** Rio de Janeiro × Rio de Janeiro Sintético.

Na **Figura 3** verificamos que o modelo conseguiu se ajustar bem no período anterior ao tratamento, que no caso foi considerado no ano de 2009. Os anos de 2004 e de 2008 são os que apresentam o maior descolamento entre as taxas de homicídios do sintético e do Rio de Janeiro. Por isso, esses anos foram incluídos na análise como covariáveis defasadas conforme [Abadie et al. \(2010\)](#). É importante lembrar que a política das UPP começou no ano de 2008 mas, como a instalação da UPP do Dona Marta ocorreu no mês de dezembro, foi utilizado o ano de 2009 como ano inicial.

Também é necessário mostrar a composição do Rio de Janeiro Sintético. Na **Tabela 2**, estão os municípios que formam o sintético, com os pesos (cuja soma é 0,998, ou seja, aproximadamente igual a unidade) calculados pelo modelo.

Na **Figura 4** temos o *gap*, ou seja, a diferenças entre o Rio de Janeiro e o Rio de Janeiro Sintético. Note-se que, antes do ano de 2009, a curva fica sempre próximo do zero, indicando um ajuste bom do modelo. Após o ano de 2009 começa a ocorrer o efeito da política e o *gap* começa a ficar negativo, indicando que o Rio de Janeiro Original, que sofreu o tratamento (implantação das UPP), passou a apresentar taxas de homicídios menores que o Rio de Janeiro Sintético (que não sofreu o tratamento), mostrando que as UPP tiveram um efeito sobre a taxa de homicídios. No gráfico temos o ápice dos efeitos da política no ano de 2012, com o maior *gap*. Porém, a partir desse ano, a política vai perdendo força, indicando a fase em que o estado do

Tabela 2. Composição da Unidade Sintética.

Município	Peso	Município	Peso
Porto Velho (RO)	0,379	Maceió (AL)	0,000
Rio Branco (AC)	0,000	Aracaju (SE)	0,001
Manaus (AM)	0,002	Salvador (BA)	0,000
Boa Vista (RR)	0,003	Belo Horizonte (MG)	0,177
Belém (PA)	0,001	Vitória (ES)	0,109
Macapá (AP)	0,001	São Paulo (SP)	0,306
Palmas (TO)	0,001	Curitiba (PR)	0,001
São Luís (MA)	0,001	Florianópolis (SC)	0,004
Teresina (PI)	0,000	Porto Alegre (RS)	0,000
Fortaleza (CE)	0,002	Campo Grande (MS)	0,001
Natal (RN)	0,000	Cuiabá (MT)	0,003
João Pessoa (PB)	0,002	Goiânia (GO)	0,001
Recife (PE)	0,000	Distrito Federal (DF)	0,003

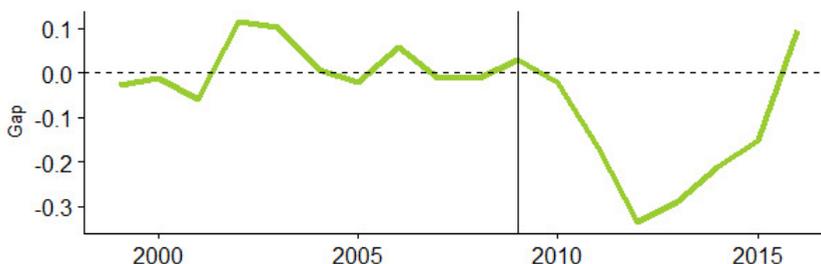


Figura 4. Gap.

Rio de Janeiro entra em crise. O *gap* está em logaritmos e, para calcularmos as taxas de homicídios normais, temos que transformar essas taxas. A **Tabela 3** indica a taxa de homicídios do Rio de Janeiro Original e do Rio de Janeiro Sintético.

De acordo com o modelo, as UPP foram, no período analisado, responsáveis por uma queda em média de 4,2 pontos nas taxas de homicídios. O único ano em que o modelo apresenta um resultado divergente dos demais é no ano de 2016 (momento em que a recessão e a crise econômica se consolidam no país), quando o modelo indica que as UPP contribuíram para aumentar a taxa de homicídios. Mas, em média, as UPP impulsionaram a queda das taxas de homicídios no município do Rio de Janeiro. Além disso, é possível calcular quantas mortes foram evitadas por ano. Com as UPP, entre 2010 e 2016, foram evitadas 272 mortes em média por ano o que significaria, aproximadamente, que 1.904 mortes foram evitadas no período.

A próxima etapa do processo de avaliação do modelo é o teste placebo. O teste, sugerido por **Abadie e Gardeazabal (2003)**, e **Abadie et al. (2010, 2011, 2015)** consiste

em aplicar o mesmo modelo para todas as outras unidades que foram utilizadas para construir a unidade sintética e, visualmente, inspecionar os resultados em um gráfico. É necessário fazer esse teste para verificar se o resultado não foi apenas um evento aleatório (Abadie & Gardeazabal, 2003). Por sugestão de Abadie et al. (2011) o teste somente será aplicado às unidades que tiverem um erro médio quadrático de previsão (*Mean Squared Prediction Error* – MSPE) cinco vezes menor que o MSPE do modelo original, para garantir que unidades com um *fit* do modelo antes da intervenção muito ruim permaneçam na amostra, dado que, nesses casos, o modelo não teria conseguido gerar uma unidade sintética razoável para a cidade em questão. Restaram onze cidades, em nosso caso.

O Figura 5 mostra o comportamento das outras cidades ao tratamento. Nesse gráfico temos: Belém (PA), Brasília (DF), Fortaleza (CE), Goiânia (GO), João Pessoa (PB), Manaus (AM), Porto Alegre (RS), Porto Velho (RO), Rio de Janeiro (RJ), Teresina (PI), Vitória (ES). O Rio de Janeiro é a linha mais espessa (em roxo). O gráfico mostra que a curva do Rio de Janeiro no período do ápice das UPP, a partir do ano de 2009 tem, em regra, um *gap* negativo bem maior (em módulo) que as

Tabela 3. Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes) do Rio de Janeiro e do Rio de Janeiro Sintético.

	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro Sintético	Impacto da UPP
2010	32,9	33,7	-0,7
2011	25,7	30,5	-4,7
2012	23,8	33,4	-9,6
2013	22,9	30,6	-7,7
2014	24,1	29,8	-5,7
2015	23,4	27,3	-3,9
2016	27,7	25,2	2,6

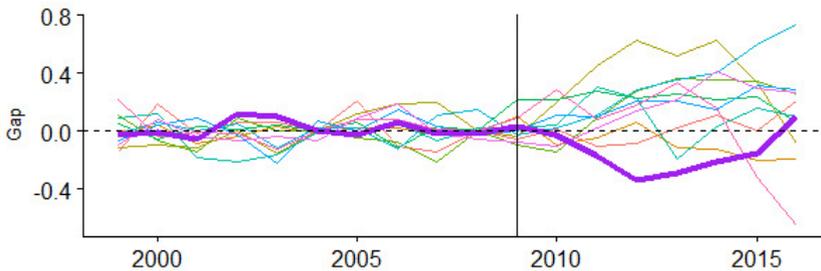


Figura 5. Teste Placebo.

outras curvas, indicando que o resultado é consistente. Para calcular a probabilidade de o resultado ter sido por acaso, verifica-se a quantidade de unidades que tiveram um maior desvio que o Rio de Janeiro durante a maior parte do tempo o que, no caso, não ocorreu. Então, basta fazer a divisão de uma unidade (o Rio de Janeiro) pela quantidade de unidades presentes no gráfico o que resulta em 9,1% (1/11) de probabilidade de o resultado ter sido obtido por acaso.

7. Considerações finais

Avaliamos o desempenho das Unidades de Polícia Pacificadora (UPP), no município do Rio de Janeiro, com o controle sintético, um método que busca extrair o efeito dos tratamentos feitos em uma determinada unidade, controlando os eventuais efeitos causados por outras variáveis intervenientes. Os resultados do modelo foram no mesmo sentido da literatura existente, que indica que as UPP reduziram as taxas de homicídios. É possível afirmar que as UPP reduziam a criminalidade não apenas nas regiões ocupadas, mas também afetaram a cidade do Rio de Janeiro como um todo. Embora controversas, e com impactos decrescentes e, talvez, não sustentáveis, as UPP foram, no período analisado, responsáveis por uma queda em média de 4,2 pontos nas taxas de homicídios, com uma queda máxima de 9,6 pontos no ano de 2012, e pouparam, aproximadamente, 1.904 vidas humanas no período.

Pesquisas adicionais poderiam avaliar melhor os impactos em níveis de regiões da cidade (bairros, distritos ou áreas de policiamento), bem como os resultados eventualmente causados sobre outros tipos de crimes (roubos, tráfico de drogas etc) e mortes causadas por confrontos com a polícia, ou, ainda, sobre outros eventos que impactam as vidas dos cidadãos (tiroteios, suspensão de aulas, queimas de ônibus etc.).

Referências bibliográficas

- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's Tobacco Control Program. *Journal of the American Statistical Association*, 105(490), 493–505. <http://dx.doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08746>
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2011). Synth: An R package for synthetic control methods in comparative case studies. *Journal of Statistical Software*, 42(13), 1–17. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v042.i13>
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2015). Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science*, 59(2), 495–510. <http://dx.doi.org/10.1111/ajps.12116>

- Abadie, A., & Gardeazabal, J. (2003). The economic costs of conflict: A case study of the Basque country. *American Economic Review*, 93(1), 113–132.
<http://dx.doi.org/10.1257/000282803321455188>
- Almeida, C., Gonzales, S. F., Souza, P. C. L., Barbosa, S. D. J., & Lopes, H. (2018). Mining the criminal data of Rio de Janeiro: Analyzing the impact of the pacifying police units deployment [CIARP 2017: Lecture Notes in Computer Science vol. 10657]. In M. Mendoza & S. Velastín (Orgs.), *Progress in pattern recognition, image analysis, computer vision, and applications*. Springer.
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-75193-1_4
- Butteli, P. H. (2015). *Avaliação de impacto de políticas de segurança: O caso das unidades de polícia pacificadora no Rio de Janeiro* (Tese de Doutorado, Rio de Janeiro). <http://hdl.handle.net/10438/14124>
- Cano, I., Borges, D., Ribeiro, E., Trindade, C., Rocha, L., Barros, C., ... Andrade, S. (2012). “os donos do morro”: Uma avaliação exploratória do impacto das unidades de polícia pacificadora (UPP) no Rio de Janeiro (Relatório técnico). Rio de Janeiro: UERJ, Fórum Brasileiro de Segurança Pública. https://forumseguranca.org.br/publicacoes_posts/os-donos-do-morro-uma-analise-exploratoria-do-impacto-das-unidades-de-policia-pacificadora-upps-no-rio-de-janeiro/
- Cerqueira, D. R. C. (2010). *Causas e consequências do crime no Brasil* (Tese de Doutorado). Departamento de Economia, PUC-RJ, Rio de Janeiro.
- Cerqueira, D. R. C. (2013). *Mapa dos homicídios ocultos no Brasil* (Texto para Discussão N° 1848). Brasília: Ipea. https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=19232
- Donohue, J. J., Aneja, A., & Weber, K. D. (2017, June). *Right-to-carry laws and violent crime: A comprehensive assessment using panel data and a state-level synthetic control analysis* (Working Paper N° 23510). NBER. (Revised November 2018)
<http://dx.doi.org/10.3386/w23510>
- Jesus, I. R. d., Gomes, F. P., & Angulo-Meza, L. (2014). Avaliação da eficiência operacional das Unidades de Polícia Pacificadora do estado do Rio de Janeiro. *Revista Produção Online*, 14(2), 448–464. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v14i2.1248>
- Pessoa, M. d. S. (2016, junho). *Segurança pública no Rio de Janeiro: Um estudo dos homicídios dolosos entre 2003 e 2014* (Texto para Discussão N° 2204). Brasília: Ipea. https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=28054
- Robbins, M. W., Saunders, J., & Kilmer, B. A. (2017). Framework for synthetic control methods with high-dimensional, micro-level data: Evaluating a neighborhood-specific crime intervention. *Journal of the American Statistical Association*, 112(517), 109–126. (Applications and Case Studies)
<http://dx.doi.org/10.1080/01621459.2016.1213634>
- Saunders, A., Lundberg, R., Braga, A. A., Ridgeway, G., & Miles, J. (2015). A synthetic control approach to evaluating place-based crime interventions. *J Quant Criminol*, 31(3), 413–434. <https://www.jstor.org/stable/44504771>

Apêndice A. Apresentação do modelo formal de controle sintético

Considere que são observadas $j = 1, 2, \dots, j + 1$ unidades nos períodos $t = 1, 2, \dots, T$, e que a primeira unidade tenha sido submetida a uma determinada intervenção (tratamento) no instante T_0 , e que perdurará em todo o período de análise, de forma que as demais unidades serão usadas para formar o controle sintético. Defina Y_{it}^N como os valores da variável de interesse para unidade i no período t , caso a unidade não tivesse sido submetida à intervenção, e Y_{it}^I caso a unidade tenha sofrido a intervenção. A meta é estimar o efeito da intervenção no resultado da unidade tratada no período pós-intervenção. Esse efeito é formalmente definido como a diferença entre os dois resultados potenciais: $\alpha_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N$ nos períodos $T_{0+1}, T_{0+2}, \dots, T$ posteriores à intervenção. A unidade sintética deve ser capaz de reproduzir a unidade que será tratada não apenas na variável de interesse, mas em um conjunto de variáveis relevantes, determinantes dos resultados de cada unidade.

Seja U_i um vetor $r \times 1$ dessas variáveis relevantes, observadas para cada unidade. Defina também o vetor $K = (K_1, \dots, K_{T_0})$, onde T_0 é o período anterior à intervenção, como pesos de uma combinação linear para cada variável relevante antes da intervenção, para as várias unidades estudadas $\bar{Y}_i^k = \sum_{s=1}^{T_0} k_s Y_{is}$. Essas combinações podem ser usadas como controles de características cujos efeitos variam ao longo do tempo. Suponha que $Y_{it}^N = \delta_t + \theta_t Z_i + \lambda_t \mu_i + \varepsilon_{it}$. Seja δ_t um fator comum desconhecido com valor constante entre todas as unidades. Z_i é um vetor $r \times 1$ de covariáveis observadas, e não afetadas pela intervenção, associadas a θ_t , que é um vetor $1 \times r$ de parâmetros desconhecidos. Seja λ_t um vetor $1 \times F$ de fatores comuns não observados e μ_i um vetor $F \times 1$ de parâmetros associados aos fatores λ_t . Seja ε_{it} os choques transitórios não observados, com média igual a zero, no nível das unidades avaliadas. Então, os modelos tradicionais (efeito fixo) de diferenças-em-diferenças podem ser obtidos se for imposto que λ_t é constante para todo o instante T e, portanto, tais modelos são casos particulares dos modelos de controle sintético que são mais flexíveis e abrangentes. Além disso, as unidades de comparação (não tratadas) têm as suas contribuições (pesos), que são determinadas com base nos dados, tornadas numericamente explícitas. Os pesos (*weights*), cuja soma iguala a unidade, são localizadas no intervalo $[0, 1]$ ao contrário do que ocorre nos modelos econométricos de diferenças-em-diferenças, os quais não têm pesos limitados, dando margens à extrapolações para além do suporte dos dados. Adicionalmente, o controle sintético é adequado para tratar com amostras pequenas o que, obviamente, não ocorre com modelos de regressão (Abadie et al., 2015).

Para construir a unidade de controle sintético é preciso criar um vetor $j \times 1$ de pesos $W = (W_2, \dots, W_{j+1})'$ com $W_j \geq 0$ para $j = 2, \dots, j + 1$ e de modo que $W_2 + \dots + W_{j+1} = 1$, onde cada elemento do vetor W representa o peso de uma unidade de controle observada. Cada W representa uma média ponderada das

unidades de controle e, conseqüentemente, uma unidade de controle sintético em potencial. Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2011) propõem escolher o vetor de pesos W^* , tal que a unidade sintética de controle obtida melhor aproxime a unidade que passou pela intervenção relacionada em U_i e com $M \leq T_0$ combinações lineares para variável de interesse antes da intervenção. Formalmente, escolhemos $W^* = (w_2^*, \dots, w_{j+1}^*)'$, de modo que sejam satisfeitas, ainda que de modo aproximado, as seguintes igualdades

$$\bar{Y}_1^{K_1} = \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* \bar{Y}_j^{K_1}, \dots, \bar{Y}_1^{K_M} = \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* \bar{Y}_j^{K_M}$$

e

$$U_1 = \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* U_j.$$

Então, $\hat{\alpha}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* U_{jt}$ é o estimador de α_{1t} nos períodos $T_{0+1}, T_{0+2}, \dots, T$, posteriores à intervenção.

Para implementar o estimador de controle sintético numericamente, é preciso definir uma distância entre a unidade de controle sintético e a unidade tratada. Para isso, basta agregar as características da unidade tratada na matriz $K \times 1$ dada por $X_1 = (U_1', Y_1^{K_1}, \dots, Y_1^{K_M})'$ e os valores das mesmas variáveis para as unidades de controle na matriz $K \times j$ dada por X_0 com a j -ésima linha $(U_j', \bar{Y}_j^{K_1}, \dots, \bar{Y}_j^{K_M})'$. Como U_i é um vetor $r \times 1$ temos $k = r + M$. O vetor de pesos W^* é calculado de forma a minimizar a distância $\|X_1 - X_0 W\|$ entre X_1 e $X_0 W$, sujeita às restrições dos pesos W^* . Particularmente, a função *synt*(\cdot) escolhe W^* que minimiza a distância $\|X_1 - X_0 W\|_v = \sqrt{(X_1 - X_0 W)' V (X_1 - X_0 W)}$, onde $V_{k \times k}$ é uma matriz simétrica positiva semidefinida. $V_{k \times k}$ é introduzida para permitir diferentes pesos para as variáveis X_1 e X_0 , dependendo da sua capacidade para prever o resultado Y_1 . Uma escolha ótima de V , no conjunto de todas as matrizes diagonais positivas definidas, calcula pesos que minimizam o erro quadrático médio do estimador do controle sintético, dado por $(Y_1 - Y_0 W^*)' (Y_1 - Y_0 W^*)$.