

Núcleo de Operações e Inteligência em Saúde (NOIS)

Inteligência computacional aplicada à predição da evolução da COVID-19 e ao dimensionamento de recursos hospitalares

[@NOIS\\_PUCRio \[Twitter\]](#) | [www.sites.google.com/view/nois-pucRio](http://www.sites.google.com/view/nois-pucRio) [Site Oficial]

## Nota Técnica 3 – 19/03/2020

### Análise das medidas de contenção da COVID-19 até 17 de março de 2020

Amanda Batista<sup>1</sup>; Bianca Antunes<sup>1</sup>; Guilherme Faveret<sup>1</sup>; Igor Peres<sup>1</sup>; Janaina Marchesi<sup>2</sup>; Leila Dantas<sup>1</sup>; Leonardo Bastos<sup>1</sup>; Soraida Aguilar<sup>1</sup>; Otavio Ranzani<sup>3,4</sup>; Fernanda Baião<sup>1</sup>; Paula Maçaira<sup>1</sup>; Silvio Hamacher<sup>1,2</sup>; Renata Carnevale<sup>5</sup>; Fernando Bozza<sup>6,7</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Tecgraf, PUC-Rio, Brasil

<sup>3</sup>Barcelona Institute for Global Health (ISGlobal) - Barcelona, Espanha

<sup>4</sup>Divisão de Pneumologia, InCor, Hospital das Clínicas FMUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

<sup>5</sup>Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro, SES RJ, Brasil

<sup>6</sup>Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino - Rio de Janeiro (RJ), Brasil

<sup>7</sup>Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

### Introdução

As curvas de crescimento de casos confirmados da COVID-19 mostram evoluções exponenciais em vários países, resultando em uma sobrecarga dos sistemas de saúde ao redor do mundo. Como medida de mitigação dos danos à população, diversos governos adotaram providências para redução da transmissão, que incluem suspensão de aulas, proibição de eventos e fechamento das fronteiras.

Apesar disso, a eficácia dessas medidas para o controle da progressão da epidemia pelo SARS-CoV-2 ainda não está clara, e especialistas debatem se o amortecimento da curva do número de casos é significativo, de forma a compensar os impactos financeiros e sociais de tais ações. Por exemplo, países como China e Coreia do Sul já apresentam diminuição da taxa de crescimento do total de casos confirmados (Figura 1), embora tenham adotado medidas de contenção distintas. Há ainda casos de redução da taxa de crescimento que aparentemente não se relacionam com nenhuma medida específica de contenção. Desta forma, a relação entre as taxas de crescimento e as medidas de contenção precisa ser melhor explorada. Neste sentido, é essencial reunir informações que possam auxiliar nesta análise.

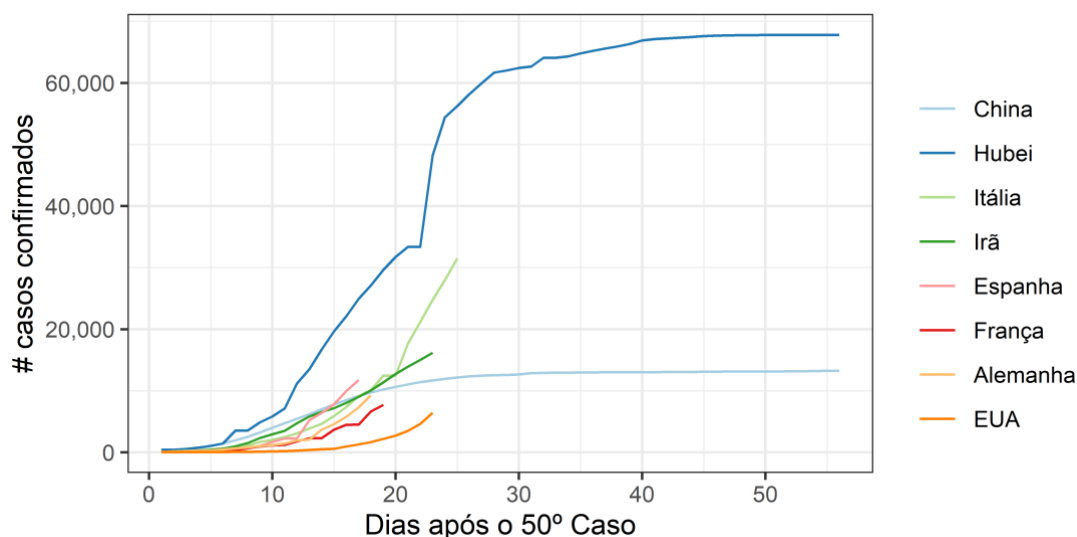


Figura 1. Evolução do número de casos confirmados, a partir do dia em que cada país alcançou 50 casos. Os dados da China não consideram a província de Hubei.

Fonte: World Health Organization, dados providos pela John Hopkins University em <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>

A caracterização das medidas de contenção não é trivial, uma vez que podem variar quanto ao nível de abrangência (medidas locais, regionais ou nacionais), dosagem (medidas de impacto moderado, ou mais radicais), prontidão (medidas preventivas ou de mitigação), nível de imposição estabelecido pela autoridade (recomendações versus decretos), aspectos culturais, entres outras questões específicas de cada país.

No Brasil, diversos estados já tomaram ações locais e preventivas em áreas como educação, transporte, turismo e lazer. O impacto dessas ações e em quanto tempo as mesmas terão resultados efetivos podem ajudar no delineamento de planos de ação de saúde pública e privada. Portanto, este estudo tem como objetivo apresentar, de forma integrada e estruturada, as medidas tomadas pelos governos de vários países e seu impacto na evolução do número de casos. Com isso, buscamos também avaliar como as medidas adotadas pelo Brasil estão alinhadas à aquelas em nível internacional.

## Metodologia

A primeira fase consistiu no mapeamento das informações reportadas na grande mídia sobre as medidas de contenção tomadas pelos países que já haviam enfrentando a COVID-19 há mais tempo. Estes dados foram então comparados com a série histórica de casos confirmados (a partir do dia em que o país alcançou um total de no mínimo 50 casos), a fim de permitir a análise da influência dessas medidas nas curvas de crescimento de cada país.

Na fase de análise, primeiramente foram avaliados países que já apresentaram série histórica do número de casos confirmados a ponto de se notar desaceleração no crescimento. Nesta situação se encontram China (excetuando-se a província de Hubei), Hubei em particular, e Coreia do Sul. Em seguida, foram analisados os números da Itália e da Espanha, países que ainda se encontram em fase de crescimento acelerado da propagação da doença e que apenas recentemente aplicaram medidas de contenção de abrangência nacional. Neste caso, os dados foram também analisados de forma mais

granular (para cada província), tendo em vista que diferentes medidas de contenção foram definidas e adotadas pelas autoridades locais. Finalmente, foi analisado o caso do Brasil, considerando as medidas que estão em vigor.

Ainda na fase de análise dos dados, foram identificados momentos em que o padrão da série histórica mudava. Para isso, foi empregada uma busca automática de quebras estruturais para cada país, utilizando o pacote *strucchange*<sup>1</sup> do R. Essa abordagem considera um modelo clássico de regressão linear simples que está detalhado no Anexo 1.

## Análise das medidas de contenção com indícios de efetividade já percebidos

### China (excetuando-se Hubei)

Em 23 de janeiro, a China, até então com 199 casos confirmados, impôs a seus habitantes um regime de quarentena em todas as regiões. A partir desta data, a população poderia sair de casa somente para emergências, comprar comida e ir ao trabalho. Neste mesmo dia, decretou-se adicionalmente a proibição da entrada e saída da cidade de Wuhan, epicentro da epidemia. A Figura 2 mostra a evolução do número de casos confirmados na China (excetuando-se a província de Hubei) e a medida de contenção adotada (em azul). O gráfico à esquerda mostra o número de casos em escala aritmética, enquanto o gráfico à direita está em escala logarítmica.

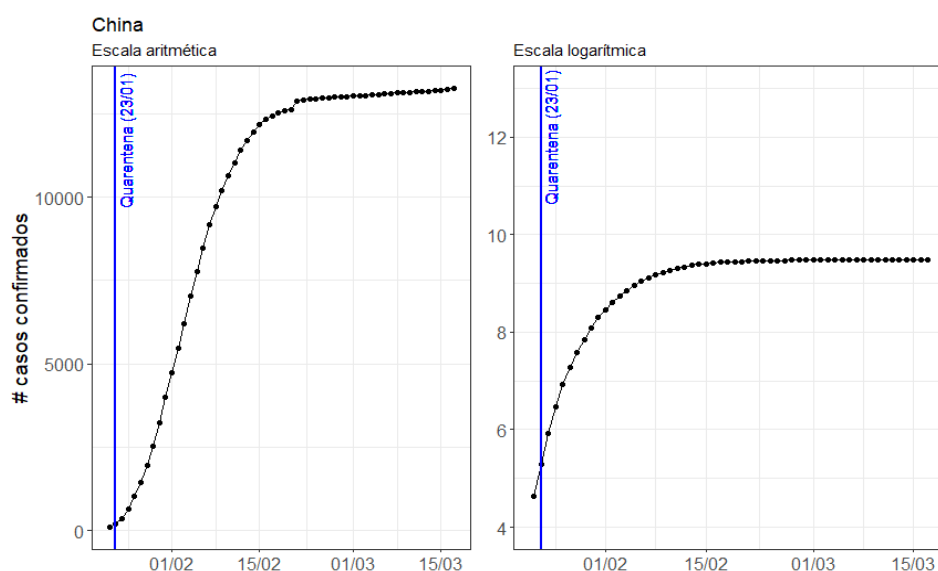


Figura 2. Evolução do número de casos confirmados na China (exceto Hubei), em escala aritmética (esquerda) e logarítmica (direita), ressaltando as datas das medidas de contenção.

Percebe-se um crescimento vertiginoso da propagação da doença em escala exponencial no mês de janeiro, e em fevereiro uma transição para um período de desaceleração da curva e posterior suavização a partir da 2ª semana do mês.

Os pontos de mudança estrutural encontrados na curva do número de casos da China são ilustrados como linhas verticais em vermelho na Figura 3. Eles ocorreram nos dias 31 de janeiro (onde se observa uma mudança de concavidade na curva) e 08 de fevereiro (indicando o início de um declínio mais expressivo da taxa de crescimento).

<sup>1</sup> <https://www.rdocumentation.org/packages/strucchange>

Em uma escala de dias, considerando a data da medida de contenção como  $t=0$ , as quebras estruturais na curva de crescimento do número total de casos confirmados aconteceram em  $t=8$  dias e  $t=16$  dias.

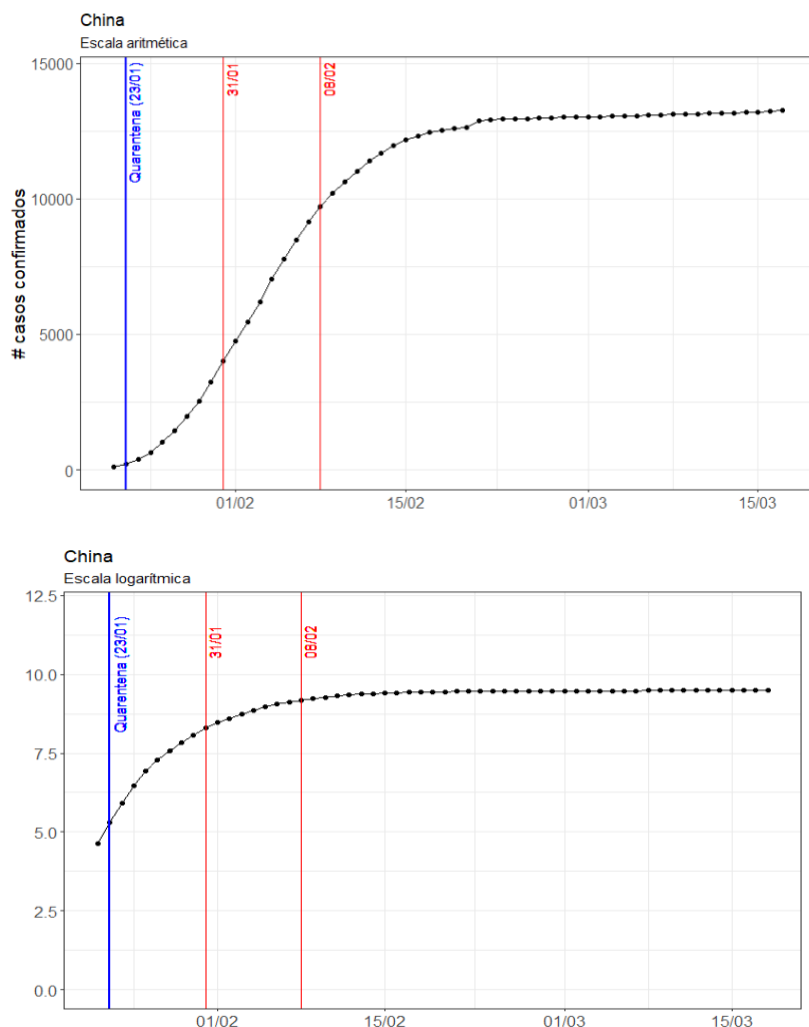


Figura 3. Evolução do número de casos confirmados na China (exceto Hubei), em escala aritmética (em cima) e logarítmica (embaixo), ressaltando as datas das medidas de contenção (azul) e das mudanças de estrutura na curva (vermelho).

## Hubei

No mesmo dia em que a China decretou regime de quarentena em todas as regiões (23 de janeiro), Hubei em particular também aplicou uma medida de isolamento à cidade de Wuhan, proibindo a entrada e saída da cidade. No dia seguinte (24 de janeiro), outras 15 cidades também foram isoladas. Tais medidas foram tomadas quando esta província reportava um total de 444 casos. A Figura 4 mostra a evolução do número de casos confirmados em Hubei, epicentro da epidemia de COVID-19, e as medidas de contenção adotadas, em escala aritmética e logarítmica.

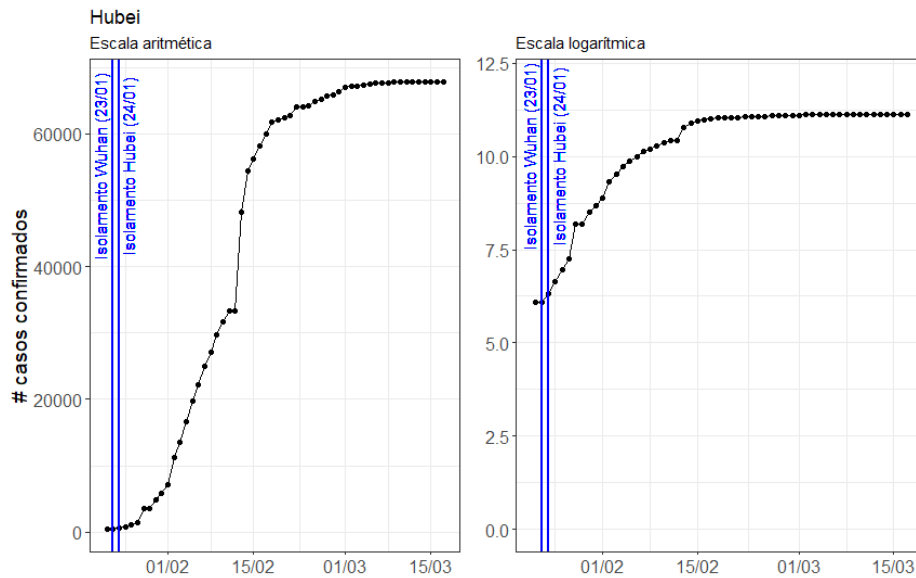


Figura 4. Evolução do número de casos confirmados em Hubei, em escala aritmética (esquerda) e logarítmica (direita), ressaltando as datas das medidas de contenção.

De forma análoga aos dados da China como um todo, percebe-se uma fase inicial de crescimento vertiginoso da propagação da doença, em escala exponencial até o início de fevereiro, quando a curva passa a ter uma tendência linear e posterior suavização da curva a partir da 2ª semana de fevereiro. Ressalta-se a manutenção do número total de casos em 11 e 12 de fevereiro, quando possivelmente não houve atualização dos dados.

Os pontos de mudança estrutural encontrados na curva de Hubei ocorreram nos dias 03 de fevereiro (quando houve a transição para uma tendência de crescimento linear) e 12 de fevereiro (quando, mesmo considerando a possível falta de atualização dos dados neste dia, observa-se o início de um período de declínio da taxa de crescimento).

Em uma escala de dias, considerando a data da primeira medida de contenção como  $t=0$ , as quebras estruturais na curva de crescimento do número total de casos confirmados aconteceram em  $t=11$  dias e  $t=20$  dias.

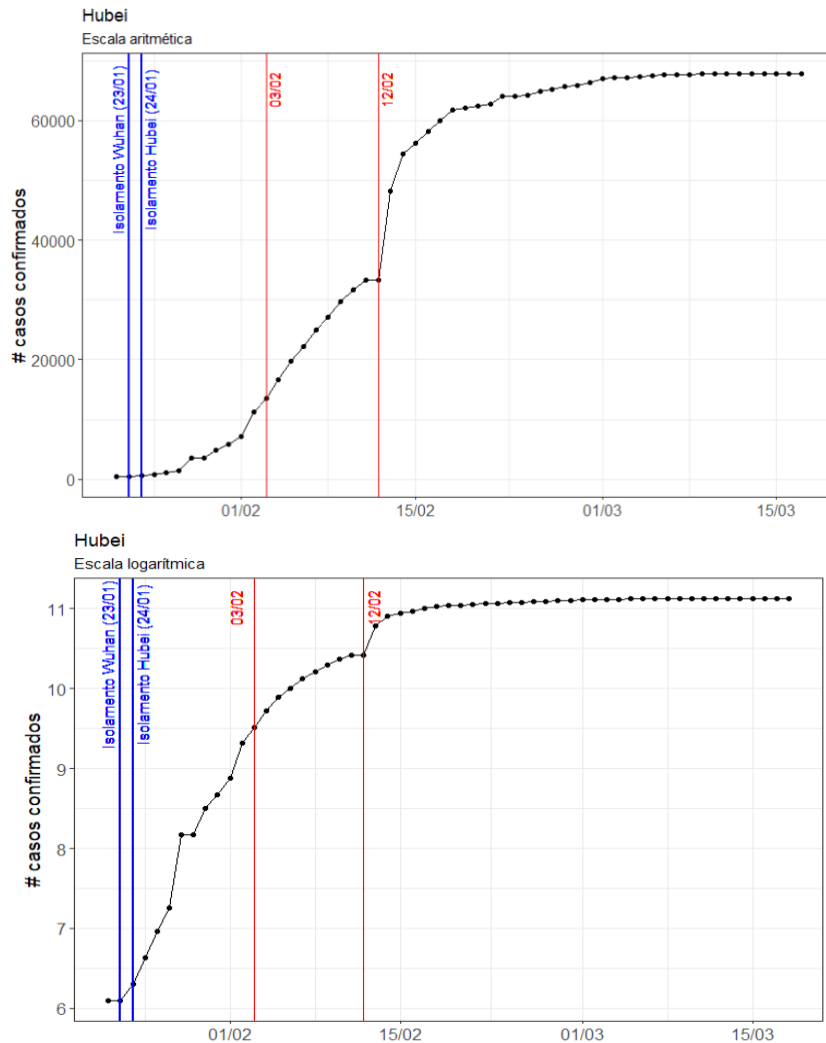


Figura 5. Evolução do número de casos confirmados na China (exceto Hubei), em escala aritmética (em cima) e logarítmica (embaixo), ressaltando as datas das medidas de contenção (azul) e das mudanças de estrutura na curva (vermelho).

## Coreia do Sul

A análise das medidas de contenção adotadas pela Coreia do Sul apresenta algumas particularidades. Primeiro, as medidas foram tomadas logo no início da epidemia, quando o número de casos confirmados ainda era muito baixo. A proibição de entrada de passageiros vindos de Hubei ocorreu em 04 de fevereiro, quando o país reportava um total de apenas 16 casos, e a recomendação de isolamento para a população foi dada em 20 de fevereiro, quando havia 104 casos. A Figura 6 mostra a evolução do número de casos confirmados na Coreia do Sul e as medidas de contenção adotadas, em escala aritmética (gráfico à esquerda) e logarítmica (gráfico à direita).

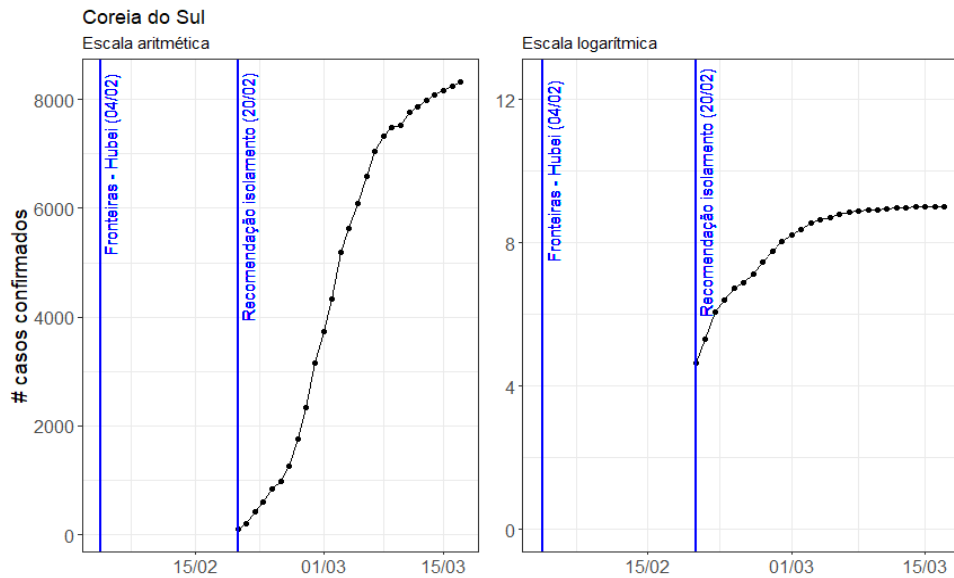


Figura 6. Evolução do número de casos confirmados na Coreia do Sul, em escala aritmética (esquerda) e logarítmica (direita), ressaltando as datas das medidas de contenção e das mudanças de estrutura na curva da evolução.

Houve um período considerável (16 dias) em que a Coreia do Sul teve um número reduzido de casos confirmados, desde a data da primeira medida de contenção (04 de fevereiro) até ter alcançado mais de 50 casos (mais precisamente 104 casos, em 20 de fevereiro), o que pode indicar que a medida de contenção inicial- por ter sido adotada no início da epidemia, antes da fase de crescimento exponencial – pode ter postergado o início da propagação da doença. A partir de então, podemos observar um crescimento exponencial compatível com a propagação do vírus em fase de transmissão comunitária, que perdurou até o penúltimo dia de fevereiro, quando houve o início de uma tendência linear. A suavização da curva começa a ocorrer poucos dias depois, ainda na primeira semana de março.

Outro fator importante a se considerar é que a Coreia do Sul usou como estratégia adicional a testagem massiva para identificar mais casos na comunidade, o que é uma medida considerada efetiva, mas muitas vezes não factível em larga escala. É plausível considerar que as características culturais dos habitantes da Coreia do Sul podem ter contribuído para o aumento da efetividade da recomendação de isolamento social.

De fato, os pontos de mudança estrutural encontrados na curva da Coreia do Sul ocorreram nos dias 28 de fevereiro (quando se percebe uma mudança na concavidade da curva) e 05 de março (início de uma nova desaceleração da taxa de crescimento).

Portanto, em uma escala de dias, considerando a data da recomendação de isolamento social (em 20 de fevereiro) como  $t=0$ , as quebras estruturais na curva de crescimento do número total de casos confirmados aconteceram em  $t=8$  dias e  $t=14$  dias.

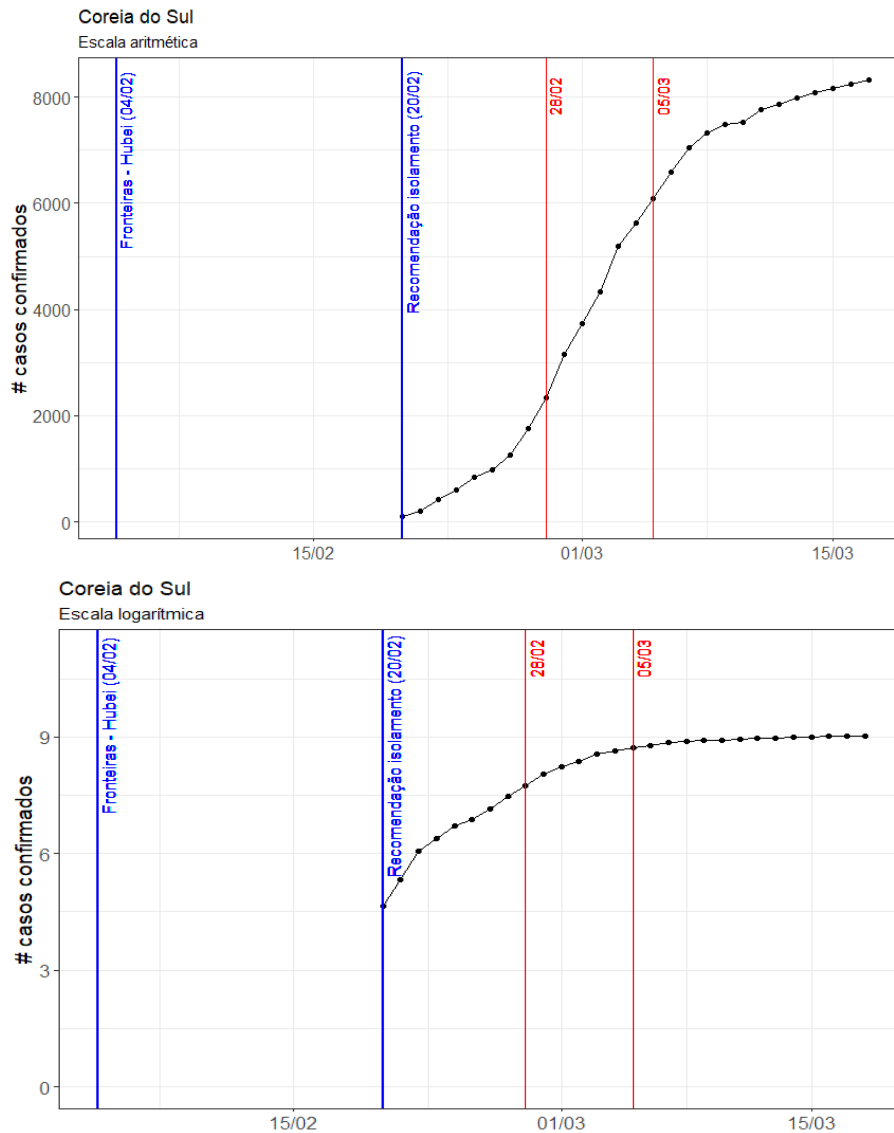


Figura 7. Evolução do número de casos confirmados na Coreia do Sul, em escala aritmética (em cima) e logarítmica (embaixo), ressaltando as datas das medidas de contenção (azul) e das mudanças de estrutura na curva (vermelho).

## Análise das medidas de contenção ainda sem indícios de efetividade percebidos

Há, ainda, países que estão hoje na fase de crescimento exponencial do número de casos da COVID-19, nos quais não há dados históricos suficientes para analisar a eficácia das medidas de contenção nacionais, uma vez que elas ainda estão sendo implantadas, ou foram implantadas muito recentemente. São os casos, por exemplo, da Itália e Espanha, que analisaremos a seguir.

### Itália

A análise do caso da Itália é mais complexa que os casos da China (exceto Hubei), Hubei e Coreia do Sul. Enquanto entre estes últimos houve indícios de efetividade das medidas de contenção a partir de 08 a 11 dias de sua implementação, na Itália o crescimento do número de casos ainda é expressivo, mesmo após algumas medidas de contenção adotadas, como fechamento de escolas (em 04 de março, quando havia 3089 casos), de fronteira (em 07 de março, com 5883 casos) e quarentena (em 09 de março, com 9172 casos). Ressalta-se, portanto, que o início da adoção de medidas de contenção



aconteceu quando o país já tinha um número expressivo de casos confirmados, o que pode ter contribuído para reduzir a efetividade da medida de contenção (ver Figura 8).

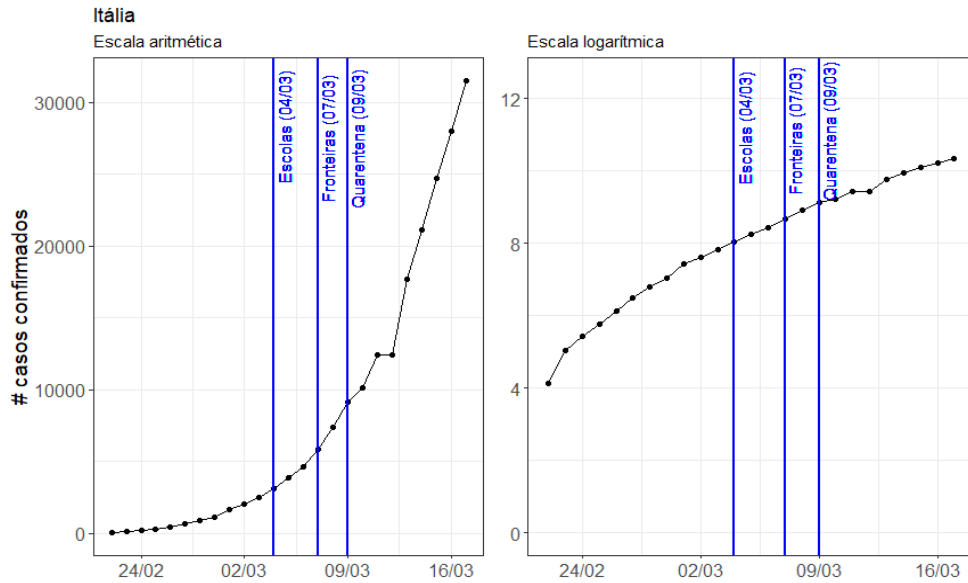


Figura 8. Evolução do número de casos confirmados na Itália, em escala aritmética (esquerda) e logarítmica (direita), ressaltando as datas das medidas de contenção e das mudanças de estrutura na curva da evolução.

Ao analisar o gráfico de crescimento na escala aritmética, as medidas não parecem ter efeito, pois aparentemente ainda há um grande número de novos casos. Contudo, ao avaliar o crescimento na escala logarítmica, percebe-se uma desaceleração no crescimento de novos casos, marcados pelas quebras estruturais na curva em  $t=6$  dias e  $t=14$  dias (Figura 9).

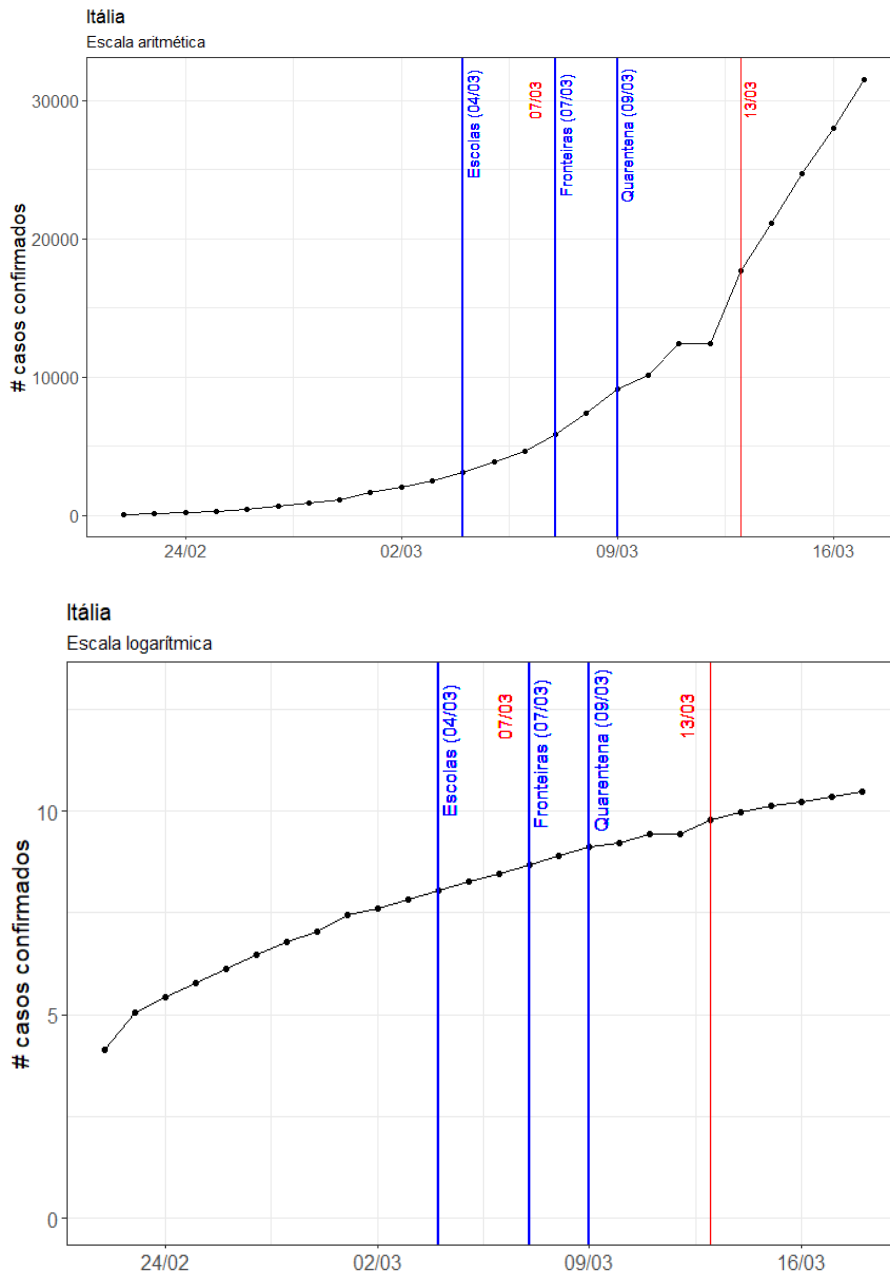


Figura 9. Evolução do número de casos confirmados na Itália, em escala aritmética (em cima) e logarítmica (embaixo), ressaltando as datas das medidas de contenção (azul) e das mudanças de estrutura na curva (vermelho).

Aparentemente, estes pontos não são correlacionados às medidas de fechamento de escolas, de fronteira e quarentena. Todavia, as medidas apresentadas no gráfico são para todo território italiano, mas sabe-se que diferentes regiões e províncias da Itália tomaram medidas anteriores às ações do país. Assim, a desaceleração no crescimento de novos casos pode ser explicada pelas medidas regionais. A Figura 10 apresenta a evolução do COVID-19, em escala logarítmica, nas províncias mais afetadas da Lombardia (epicentro da epidemia na Itália).

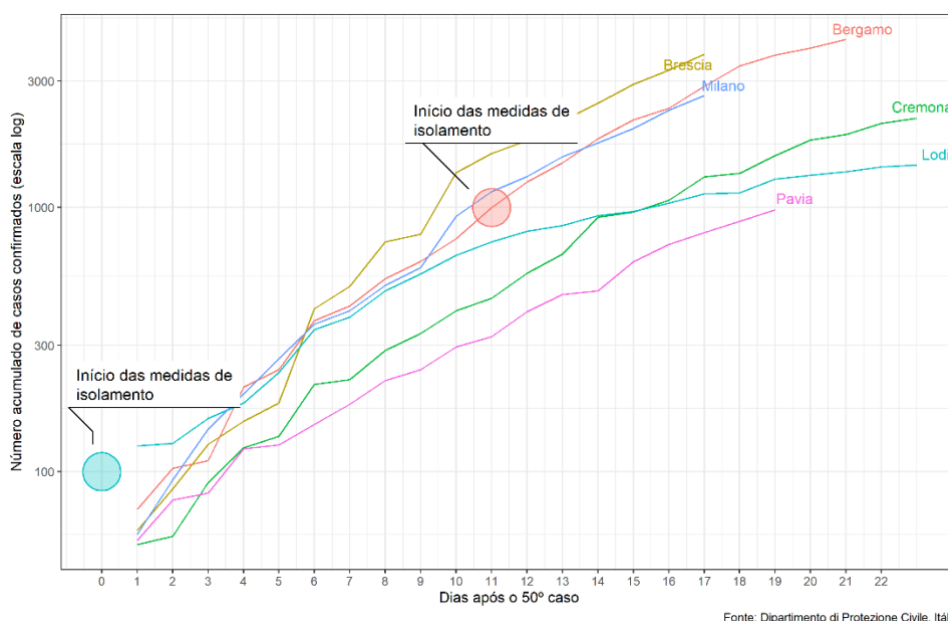


Figura 10. Evolução do número de casos confirmados nas províncias da Lombardia, Itália, em escala logarítmica, até o dia de 17 de março de 2020.

A província de Lodi tomou medidas de fechamento no dia 23 de fevereiro, quando o número de casos ainda era menor que 100 (chamemos este de dia zero, ou D0), porém em Bérgamo estas medidas só foram tomadas em D11 (ou seja, 11 dias após a detecção do 40º caso nesta província). Apesar de Lodi ter o maior número de casos em D0, percebe-se uma evolução da doença mais lenta que nas demais províncias. Em torno de D7 e D14 percebe-se uma diminuição nas taxas de crescimento, fenômeno semelhante ao observado na China (exceto Hubei), Hubei e Coreia do Sul. Isso corrobora os indícios de efetividade das medidas de isolamento.

## Espanha

A exemplo da Itália, a medida de contenção adotada pela Espanha em nível nacional é recente (15 de março) e ainda não é possível analisar seu efeito, como mostrado pela Figura 11, também nas escalas aritmética e logarítmica. Portanto, é imperioso avaliar a progressão do COVID-19 em diferentes regiões da Espanha (Figura 12).

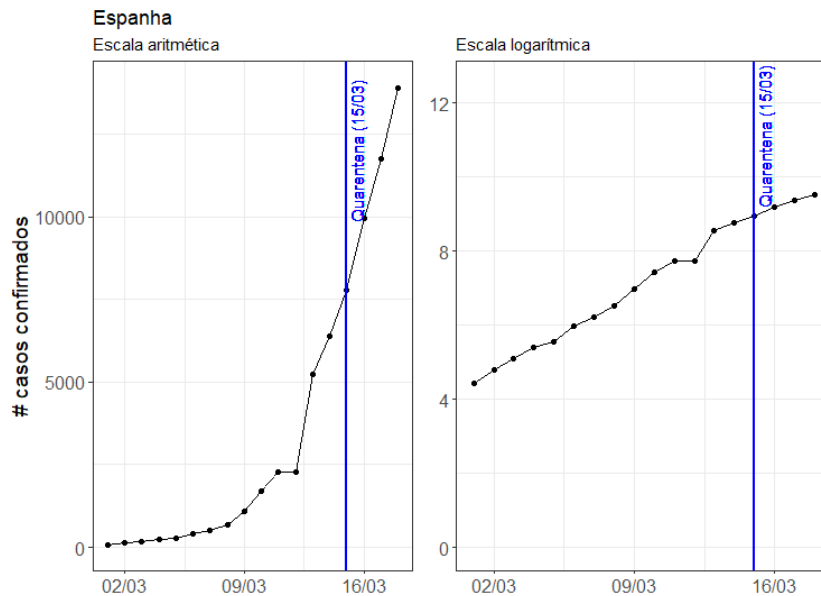


Figura 11. Evolução do número de casos confirmados na Espanha, em escala aritmética (esquerda) e logarítmica (direita), ressaltando a data da medida de contenção nacional.

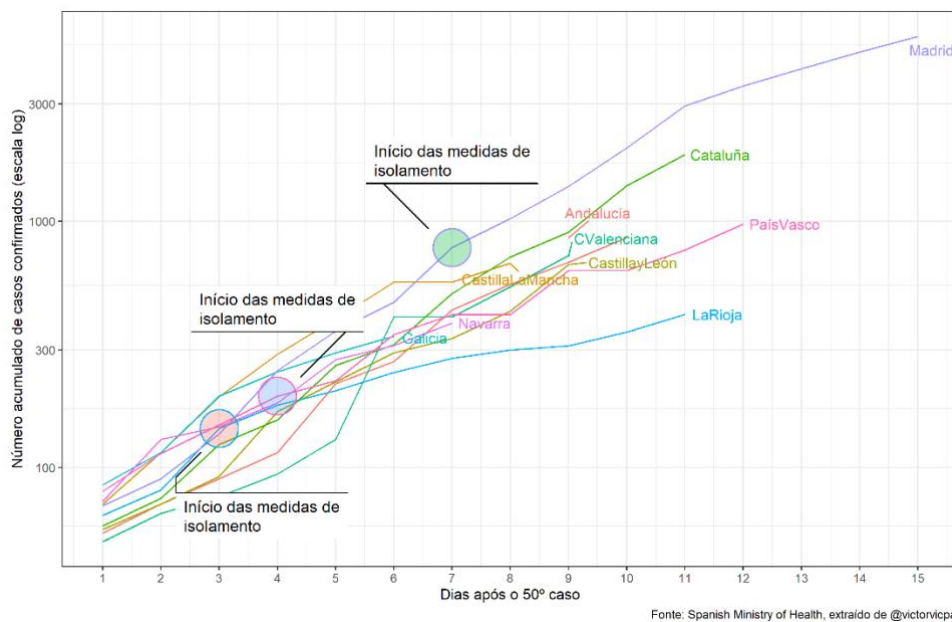


Figura 12. Evolução do número de casos confirmados nas regiões da Espanha, em escala logarítmica, até o dia de 17 de março de 2020.

Na Espanha, três comunidades autônomas (Madrid, País Basco e La Rioja) tomaram medidas de contenção antecipadamente, no dia 10/03/2020. Embora a contenção tenha sido feita no mesmo dia, estas três comunidades estavam em momentos diferentes da expansão da epidemia. Enquanto La Rioja e País Basco ainda estavam no começo da expansão, ou seja, no 3º e 4º dias após os 50 primeiros casos, Madrid já estava no 7º dia após os primeiros 50 casos. Observa-se que a evolução da COVID-19 nas regiões de La Rioja e de País Basco foi mais lenta que nas demais regiões espanholas, ratificando os indícios de efetividade das medidas de isolamento e a importância não só temporal, mas também na quantidade de casos já diagnosticados, que medem indiretamente a transmissão ocorrendo na comunidade.

## Caso Brasil

No Brasil, a progressão da epidemia está em fase inicial, embora já tenha sido constatados casos de transmissão comunitária, com apenas um estado (São Paulo) com mais de 50 casos confirmados até 17 de março. Apesar disso, seguindo o exemplo de outros países, alguns estados já adotaram medidas de contenção, com o intuito de retardar o crescimento da curva. Na Figura 13 estão representadas as curvas de casos acumulados do Brasil e dos dois estados com maior número de casos, Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP). As medidas de contenção adotadas por esses estados também são ilustradas.

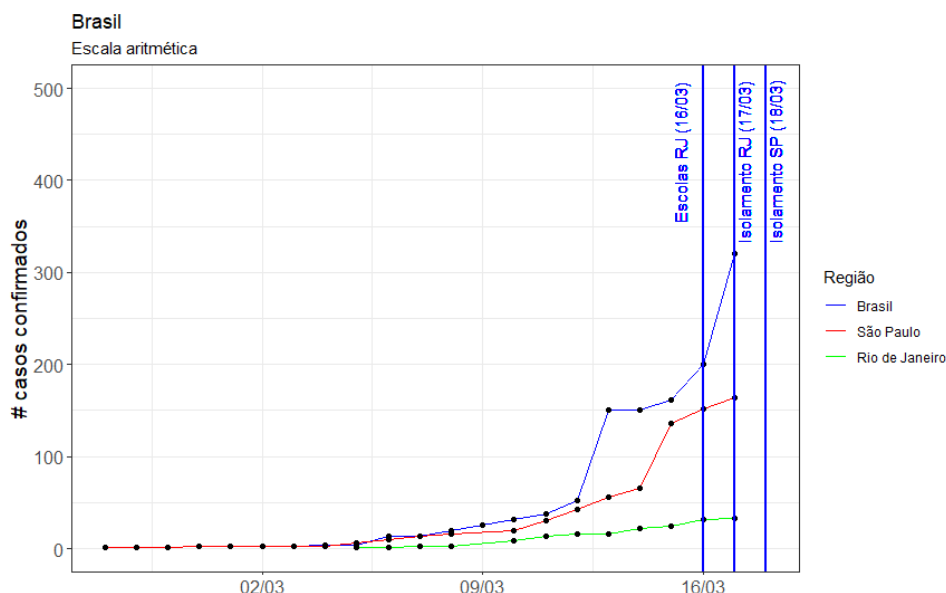


Figura 13. Evolução do número de casos confirmados no Brasil, e nos estados do RJ e SP, em escala aritmética, até o dia de 17 de março de 2020.

Apesar de São Paulo, em 17 de março, apresentar quase cinco vezes o número de casos confirmados no RJ (164 e 33 casos, respectivamente), o Estado de São Paulo ainda não suspendeu completamente as aulas em suas escolas estaduais (optou por só suspender oficialmente a partir de 23 de março), enquanto o Estado do Rio de Janeiro teve as atividades escolares suspensas já no dia 16 de março, quando apresentava 31 casos. Em relação ao isolamento, os dois estados recomendaram fechamentos de shoppings, academias e a suspensão de eventos (dia 17 de março no RJ e dia 18 de março em SP).

## Discussão Final

Nesta nota procuramos apresentar e analisar informações sobre as medidas de contenção tomadas por diversos países e as alterações nas taxas de crescimento observadas a partir do número total de casos confirmados de COVID-19. Além disso, comentamos sobre as medidas de contenção recentemente adotadas no Brasil, particularmente pelos estados do RJ e SP, frente ao que já foi ou vem sendo observado em outros países, guardadas as particularidades de cada um.

De acordo com os dados analisados, há indícios de que as medidas de alta dosagem (como isolamento e quarentena) empregadas pela China (exceto Hubei), Hubei e Coréia do Sul tenham sido efetivas na redução das taxas de crescimento dos casos de COVID-19. Pela evolução da epidemia observada nesses países e a exemplo de outros países, a efetividade destas medidas torna-se perceptível após 1 a 2 semanas de sua aplicação.

Em países como Itália e Espanha, observou-se que as medidas de fechamento nacionais foram tardias, o que pode ter contribuído para que a propagação da COVID-19 não tenha sido desacelerada a tempo. Apenas as regiões onde as medidas de isolamento de amplitude local foram tomadas no início da epidemia (Lodi na Itália, La Rioja e País Basco na Espanha) apresentaram indícios de redução da progressão da doença.

Devemos levar em conta que os dados analisados são casos confirmados. Estima-se que a infecção por COVID-19 possa tardar até 14 dias para apresentar sintomas. Em estudos da China, a mediana de adoecimento tem sido de 4 e 5 dias. Assim, a análise de casos confirmados e a tomada de decisões já é realizada com no mínimo 4 e 5 dias de atraso em relação a transmissão. Ainda, os efeitos na taxa de crescimento dos casos podem ter sofrido influência de diversos outros fatores, que não foram aqui considerados.

Portanto, é primordial que o Brasil busque utilizar a experiência dos países que tiveram sucesso no controle da epidemia em âmbito nacional. Espera-se que os dados apresentados nesta nota técnica auxiliem a tomada de decisão quanto à aplicação de medidas de contenção, considerando os indícios de efetividade das medidas adotadas pelos países, quanto à sua amplitude (medidas locais, regionais ou nacionais), à sua dosagem (medidas de impacto moderado, como fechamento de escolas, ou radicais, como fechamento de fronteiras e quarentena) e à sua prontidão (medidas preventivas ou tardias).

## Anexo 1

Modelo de regressão utilizado na abordagem *strucchange*<sup>2</sup> do R:

$$y_i = x_i^T \beta + u_i \quad (1)$$

onde  $i$  é o índice das observações,  $y$  é a variável resposta (de interesse),  $x$  a variável que irá explicar  $y$ ,  $\beta$  é o coeficiente que conecta  $y$  e  $x$ , e  $u$  o resíduo. Já para identificar os pontos de quebra estrutural propriamente ditos, supõe-se que existam  $m$  pontos de interrupção em  $y$ , nos quais os coeficientes da regressão linear irão variar de um segmento para o outro. Assim, existem  $m + 1$  segmentos nos quais os coeficientes de regressão são constantes e o modelo pode ser reescrito como

$$y_i = x_i^T \beta_j + u_i \quad (i = i_{j-1} + 1, \dots, i_j; j = 1, \dots, m + 1) \quad (2)$$

onde  $j$  denota o índice do segmento. Na prática, os pontos de quebra  $i_j$  raramente são obtidos de forma exógena, necessitando serem estimados. Para definir os pontos de quebra, isto é, realizar essa estimação, busca-se minimizar a soma do quadrado dos resíduos da equação (2).

---

<sup>2</sup> <https://www.rdocumentation.org/packages/strucchange>