

# Modelando a Covid-19 na Bélgica

José Arthur e Luca Escopelli

Setembro de 2020

## 1 Introdução

A pandemia de corona vírus na Bélgica se deu de forma não muito diferente do que se observou no resto do mundo salvo casos especiais. Em particular, se deu de forma muito parecida com os demais países da Europa ocidental (ver Figura 1).

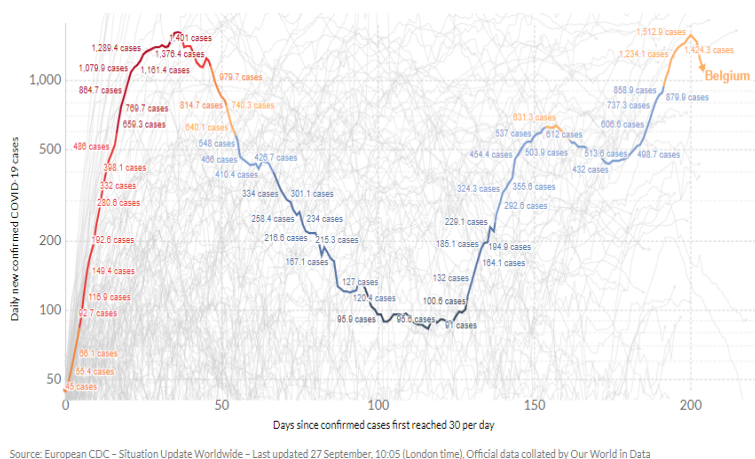


Figura 1: Número de novos casos por dia desde o início da pandemia no país

O primeiro caso registrado foi em 4 de fevereiro de um belga repatriado de Hubei dois dias antes. O segundo caso veio acontecer somente quase um mês depois, dia primeiro de março. Depois disso, os casos começaram a ser mais frequentes [13] [1].

O governo belga tomou as medidas recomendadas desde o início. Colocou os suspeitos em quarentena [10] e adquiriu máscaras e equipamentos de segurança semanas depois da chegada dos primeiros infectados [6]. Um site do governo também passou a disseminar informações sobre o novo corona vírus e recomendações de saúde [17]. A propósito, o governo belga tem sido exemplar

em relação às informações e dados da pandemia no país.

A primeira morte ocorreu em 11 de março. Outras duas pessoas morreram no mesmo dia devido à doença [14].

No dia 12 de março, o gerenciamento da pandemia foi elevado a nível federal e uma série de medidas mais restritivas foram adotadas [3]. A exemplo, escolas foram fechadas e atividades recreativas canceladas. A essa altura, a Bélgica estava perto das centenas de casos por dia.

Como se pode imaginar, o vírus continuou se espalhando. Há um crescimento no número de casos, hospitalizações e mortes a partir de então. O número de casos tem seu ápice, 2.336, no dia 10 de abril; nesta semana, são registrados 11.175 casos. O número de mortes alcança seu máximo no dia 8 de abril, com 321 mortes; nesta semana, ocorrem 1.713 mortes (ver Figura 2).

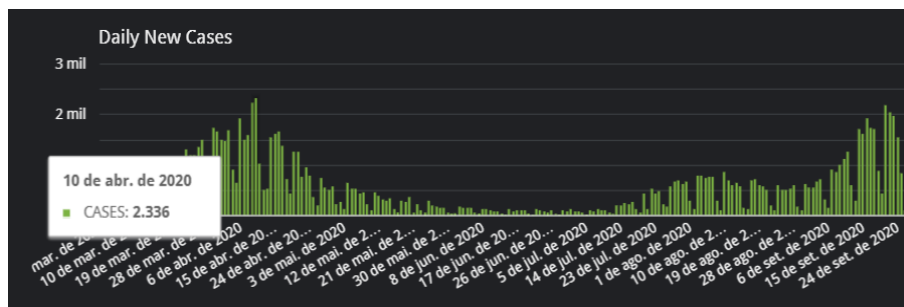


Figura 2: Casos diários

Isso até o dia 12 de abril, quando o número de hospitalizações e pacientes em UTI passa a se estabilizar [11] [12] e decrescer logo após.

Dia 10 de Maio, a fase 1 de desconfinamento é implementada [16]. Com ela, os cidadãos puderam encontrar-se com duas pessoas (sempre as mesmas) e receber em casa até quatro pessoas (sempre as mesmas) desde que tomando as precauções necessárias, como distanciamento e preferência por locais abertos. Em 18 de maio, a fase 2 é iniciada [5]. Nela, passam a ser permitidas novamente atrações culturais.

A partir do dia 25 de maio, o número de novas infecções começa a cair [9]; logo, a taxa de mortalidade pelo vírus também cai.

Dia 8 de junho, começa a fase 3 de desconfinamento [19]. Com ela, atividades de lazer foram permitidas, assim como esportivas e religiosas, ainda que com certos cuidados. A fase 4 se inicia em primeiro de julho [15] e algumas aglomerações são permitidas.

A partir de 11 de julho, os números de casos começaram a aumentar novamente [21]. Foi o começo da segunda onda já esperada; o artigo 'Covid-19: Risk of second wave is very real, say researchers' [22] já previa o fenômeno para países da Europa meses antes, dado que o número de pessoas infectadas pela primeira onda não foi grande o suficiente (e a Bélgica apresentou alguns dos maiores números) para alcançar a imunidade de rebanho. No entanto, percebemos que

o número de mortes não acompanhou o número de casos como na primeira onda; ele cresce, mas não muito. Ver Figura 3.

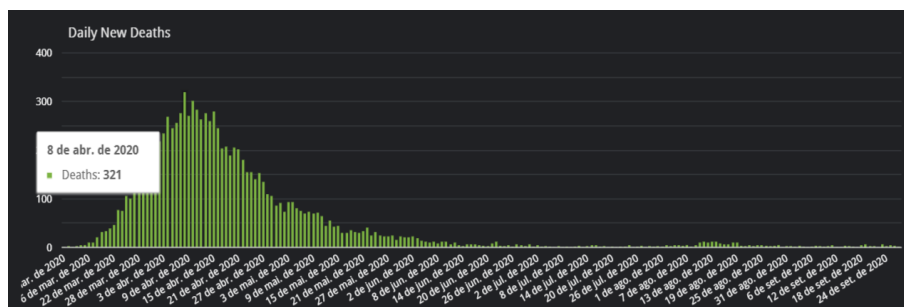


Figura 3: Mortes diárias

Os números baixam de novo em 20 de agosto [18], mas voltam a crescer a partir do dia 13 deste mês [20]. Mais uma vez, o número de mortes não acompanha o número de casos.

Acredita-se que isso se deve ao fato dessas segundas ondas serem causadas majoritariamente por jovens. Observa-se isso em vários países próximos a Bélgica, por exemplo. O artigo 'Decreased Case Fatality Rate of COVID-19 in the Second Wave: A study in 53 countries or regions' [7] comenta sobre essa possibilidade e algumas outras (ver figura 4).

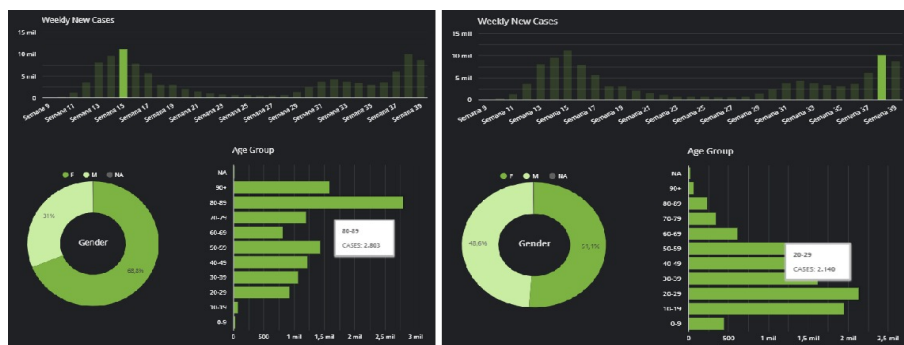


Figura 4: Idade e gênero durante ápice da primeira e da segunda onda

25% dos infectados, maior das porcentagens, na primeira onda estavam na faixa etária 80-89 anos. Na segunda onda, a maior porcentagem, 21%, é ocupada por jovens adultos de 20 a 29 anos. É curioso também que o número de mulheres belgas infectadas na primeira onda foi mais que o dobro do de homens; futuramente essa razão se torna mais igualitária.

No dia de hoje (28/09/2020), a Bélgica tem acumulados 114.179 casos, 9.980 mortes e 20.079 hospitalizações. Todas as taxas têm crescido.

## 2 Artigos de modelagem

O primeiro artigo que usamos como base para nosso estudo foi ‘Hospitalization dynamics during the first COVID-19 pandemic wave: SIR modelling compared to Belgium, France, Italy, Switzerland and New York City data’ [8] em que o autor compara de forma sucinta o avanço da pandemia nos lugares citados. O autor opta por usar o modelo SIR no seu trabalho e ao comparar as diferentes localidades chega a um coeficiente de correlação próximo a 98,8%, sugerindo que mesmo um modelo simples pode obter resultados satisfatórios.

Em seguida analisamos o artigo ‘Modeling the early phase of the Belgian COVID-19 epidemic using a stochastic compartmental model and studying its implied future trajectories’ [2] em que os autores utilizam um modelo estocástico para analisar os dados da COVID-19 na Bélgica. Afirmam utilizar o modelo SEIR, porém criam subdivisões no grupo dos infectados que fazem o modelo se assemelhar ao SEIAHR, sendo até um pouco mais complexo. Concordamos que o artigo apresenta uma ótima abordagem para a modelagem no país, porém não seria nosso foco utilizar um modelo com tamanha complexidade.

Por fim, analisamos o artigo ‘Scenario-driven Forecasting: Modeling peaks and paths.’ [4] que apresenta um resumo dos principais acontecimentos em relação ao vírus no país e em seguida modela a ocupação de UTI’s utilizando o modelo de difusão de Bass. Consideramos interessante a abordagem dos autores, por se tratar de um modelo diferente dos anteriores, porém essa forma de modelagem não foi o foco do nosso estudo.

## 3 Metodologia

Começamos baixando todos os dados em csv do site Our World in Data e observamos os comportamentos das curvas de infectados por dia, mortos por dia, mortos por casos e mortos por casos considerando um delay de duas semanas.

Inicialmente pensamos em usar o modelo QSEIAHRD (ver figura 5) porque achamos que seria melhor para começar por já termos visto em aula e ser um dos mais completos. Usaríamos todas as taxas constantes, a não ser a taxa de mortalidade, que teria que ser uma função do tempo (pois quando o número de casos aumenta pela segunda vez, não observamos um aumento de mortes também).

Com o passar do tempo percebemos que começar por um modelo tão complexo não foi tão boa ideia, pois ficou complicado tentar estimar os parâmetros. Não contávamos, por exemplo, com dados sobre infectados assintomáticos ou a porcentagem da população em quarentena no tempo.

Resolvemos, então fazer alguns ajustes.

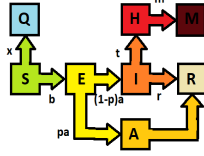


Figura 5: Modelo QSEIAHRM

Primeiro retiramos o compartimento de quarentenados. Em vez disso, vamos fazer a taxa de infecção como função do tempo. Acreditamos que é até bom, porque uma empresa especializada em saúde, a Sciesano, da Bélgica, já calcula a taxa de reprodução do vírus semanalmente.

Depois, por não termos dados separados sobre assintomáticos, resolvemos excluir esse compartimento também, aglutinando-o no compartimento de infectados.

Também reunimos o compartimento de hospitalizados com o de infectados pois a Bélgica conta o número de mortes não só dos pacientes hospitalizados, mas também dos suspeitos. Isso implicaria em ajustar duas taxas de mortalidade, uma para os infectados não hospitalizados e outra para os hospitalizados caso não o fizéssemos. Na época, apenas com os dados do Our World in Data, não teríamos como fazer isso.

Todas as taxas, fora a de infecção e de mortalidade, são constantes.

Bom, mas o porquê disso?

Lembre-mos de que a Bélgica já está passando por uma segunda onda de infecção. Poderíamos tratar disso mexendo num compartimento de quarentenados, por exemplo, fazendo as pessoas da população se protegerem por um período de tempo (a primeira onda) e se exporem mais pra frente, causando a segunda onda; isso foi feito em aula. Entretanto, pareceu minúsculo demais pra lidarmos com isso agora. Além do mais, isso não captaria bem o fato da segunda onda ser formada principalmente por uma parcela mais jovem da população. Uma taxa de infecção que muda com o tempo é bem mais simples, uma vez que podemos extrair isso dos dados com uma certa facilidade.

Sabemos também que a mortalidade não aumentou muito durante a segunda onda como aconteceu na primeira. Talvez pudéssemos modelar isso com compartimentos diferentes para determinadas faixas etárias, já que sabemos que a causa disso é a predominância de idosos na primeira onda de infectados e de adultos jovens na segunda. Mas, novamente, isso parece mais complicado do que queremos e conseguimos lidar. Por isso, e porque é relativamente fácil por causa dos dados, decidimos usar uma função do tempo para exprimir a taxa de mortalidade. Nos foi sugerida uma exponencial.

O restante se justifica pela eficiência dos modelos SEIR em outras modelagens do tipo e pelos dados de que dispomos.

Ao final, nosso modelo acabou sendo um SEIRD, onde visualizamos cada compartimento como abaixo (ver Figura 6).

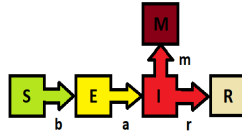


Figura 6: Modelo SEIRM

No modelo, temos:

- $S$  = compartimento de suscetíveis (pessoas que não contraíram o vírus ainda);
- $E$  = compartimento de latência (pessoas que contraíram o vírus, mas não desenvolveu sintomas ainda, uma vez que o mesmo tem um período de incubação no corpo);
- $I$  = compartimento de infectados (pessoas infectadas onde vírus já passou pelo período de incubação (portanto infectadas também); lembre que neste modelo este compartimento abriga sintomáticos, assintomáticos e hospitalizados);
- $R$  = compartimento de recuperados (pessoas que se recuperaram do vírus, que não voltam a se infectar e não transmitem o vírus);
- $M$  = compartimento de mortos.

E também:

- $b(t)$  = taxa de infecção da doença;
- $a$  = taxa de "desincubação" do vírus (podemos entender melhor pensando em  $\frac{1}{a}$  como período médio de incubação);
- $r$  = taxa de recuperação da doença;
- $m(t)$  = taxa de mortalidade dos infectados.

Temos então as seguintes equações:

$$\frac{dS}{dt} = -b(S \cdot I)$$

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= +b(S \cdot I) - a \cdot E \\ \frac{dI}{dt} &= +a \cdot E - (m + r) \cdot I \\ \frac{dR}{dt} &= r \cdot I \\ \frac{dM}{dt} &= m \cdot I\end{aligned}$$

Todos os compartimentos são medidos em unidades de pessoa, [pessoa]. Imagino que seja claro. Cada uma das derivadas é medida em [pessoa]/[tempo]. A taxa  $b$  é medida em  $1/[\text{pessoa}][\text{tempo}]$ . A taxa  $a$  já sabemos ser de dimensão  $1/[\text{tempo}]$ , pela interpretação q damos a ela. As taxas  $m$  e  $r$  são de dimensão  $1/[\text{tempo}]$  também; interpretamo-nas como as taxas de pessoas que se recuperam/morrem num tempo  $t$  ou o inverso do tempo médio de recuperação/morte.

Enfim, tudo certo.

Por fim, descobrimos uma nova fonte de informações e dados muito boa, feita pela Sciensano, citada anteriormente. Pretendemos usar mais os dados disponibilizados por ela daqui pra frente. Começamos a implementar o modelo em Sage, mas ainda temos algumas dificuldades.

## Referências

- [1] «6 new cases of Covid-19 by the end of the spring holidays». Em: *info-coronavirus.be* (mar. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/6-new-cases-of-covid-19-by-the-end-of-the-spring-holidays/>.
- [2] Steven Abrams et al. «Modeling the early phase of the Belgian COVID-19 epidemic using a stochastic compartmental model and studying its implied future trajectories». Em: *medRxiv* (2020).
- [3] «Coronavirus : Phase 2 maintained, transition to the federal phase and additional measures». Em: *info-coronavirus.be* (mar. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/phase-2-maintained-transition-to-the-federal-phase-and-additional-measures/>.
- [4] Kristof Decock et al. «Scenario-driven forecasting: Modeling peaks and paths. Insights from the COVID-19 Pandemic in Belgium». Em: *FEB Research Report MSI.2010* (2020), pp. 1–16.
- [5] «Exit strategy: Start of Phase 2 from 18 May». Em: *info-coronavirus.be* (mai. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/nsc-13-05/>.
- [6] «Face masks and other protective equipment: Belgium participates in the joint procurement at European level». Em: *info-coronavirus.be* (fev. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/face-masks-and-other-protective-equipment-belgium-participates-in-the-joint-procurement-at-european-level/>.

- [7] Guihong Fan et al. «Decreased Case Fatality Rate of COVID-19 in the Second Wave: a study in 53 countries.» Em: (2020).
- [8] Gregory Kozyreff. «Hospitalization dynamics during the first COVID-19 pandemic wave: SIR modelling compared to Belgium, France, Italy, Switzerland and New York City data». Em: *arXiv preprint arXiv:2007.01411* (2020).
- [9] «New infections are on the decline again». Em: *info-coronavirus.be* (mai. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/new-infections-are-on-the-decline-again/>.
- [10] «Nine Belgians safely repatriated from Wuhan in China». Em: *info-coronavirus.be* (fev. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/nine-belgians-safely-repatriated-from-wuhan-in-chin/>.
- [11] «Number of new hospitalizations is stabilizing». Em: *info-coronavirus.be* (abr. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/number-of-new-hospitalizations-is-stabilizing/>.
- [12] «Number of patients in intensive care units is decreasing». Em: *info-coronavirus.be* (abr. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/number-of-patients-in-intensive-care-units-is-decreasing/>.
- [13] «One repatriated Belgian has tested positive for the novel coronavirus». Em: *info-coronavirus.be* (abr. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/one-repatriated-belgian-has-tested-positive-for-the-novel-coronavirus/>.
- [14] «Pandemia de COVID-19 na Bélgica». Em: *Wikipédia* (set. de 2020). URL: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Pandemia\\_de\\_COVID-19\\_na\\_B%C3%A9lgica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pandemia_de_COVID-19_na_B%C3%A9lgica).
- [15] «Phase 4 of the phasing out will start on 1 July». Em: *info-coronavirus.be* (jun. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/nsc-25-06/>.
- [16] «Phase-out strategy (phase 1b, 11 May): More social contacts and shops allowed to open, subject to conditions». Em: *info-coronavirus.be* (mai. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/nsc-6-05/>.
- [17] «Protect yourself and protect the others». Em: *info-coronavirus.be* (mar. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/protect-yourself-and-protect-the-others/>.
- [18] «Reduction in the average number of cases and hospital admissions». Em: *info-coronavirus.be* (ago. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/reduction-in-the-average-number-of-cases-and-hospital-admissions/>.
- [19] «Start of Phase 3 of the phase-out plan starting on 8 June». Em: *info-coronavirus.be* (jun. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/nsc-0306/>.



- [20] «The number of new infections has increased again». Em: *info-coronavirus.be* (set. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/the-number-of-new-infections-has-increased-again/>.
- [21] «The number of new infections is increasing slightly». Em: *info-coronavirus.be* (jul. de 2020). URL: <https://www.info-coronavirus.be/en/news/the-number-of-new-infections-is-increasing-slightly/>.
- [22] Jacqui Wise. «Covid-19: Risk of second wave is very real, say researchers». Em: *BMJ: British Medical Journal (Online)* 369 (2020).