

A multi-agent approach to simulate contamination with the new Coronavirus

Victor Geraldo Gomes¹, Gray Farias Moita²

¹*Post-graduation Program in Mathematical and Computational Modelling
Av. Amazonas, 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte, Brasil
victor@pontobrsistemas.com.br*

²*Post-graduation Program in Mathematical and Computational Modelling
Av. Amazonas, 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte, Brasil
gray@dppg.cefetmg.br*

Abstract. We are currently experiencing a severe Coronavirus pandemic. Understanding the movement of crowds is of vital importance for planning and decision making, not only to define strategies for loosening or tightening the quarantine, but also for the allocation of health professionals or funds to more impacted locations, the definition of new needs and the necessity of hospital beds for each city, among others. As we have witnessed, modeling and empirical studies of crowd behavior are critical to supporting governments and health agencies. To try to provide quality information, a mathematical model was developed where a multi-agent system simulates the movement of people and the risk of contamination according to some situations. In this work, we are simulating scenarios where there is loosening of the quarantine and more people on the street, situations where there is stricter social isolation and the risk of contamination for these scenarios. A system was developed where the interface shows the movement of people and the moment of contagion. The preliminary results show the great difference in the time of contamination of the population in each scenario and the moment when the health system is overloaded, that is, there are no more beds for the admission of new patients. The objective of this work is to add to the studies already in progress, with more data and information that can help to improve the policies and actions to combat the pandemic.

Keywords: Coronavirus, pandemic, social isolation, multi-agent system, simulation.

1 Introdução

Ganha proeminência, no debate atual sobre a pandemia do Covid-19, a crítica à estratégia do isolamento social. Esta se fundamenta, em essência, na ideia de que os impactos econômicos do isolamento são maiores do que os seus benefícios em termos de saúde pública. Argumenta-se que a eventual restrição de contato social deveria ser direcionada aos grupos de risco desta pandemia, qual seja, pessoas com mais de 60 anos de idade ou que sejam portadoras de doenças crônicas. Por decorrência, o resto da sociedade deveria retomar a normalidade o quanto antes a fim de reduzir os impactos econômicos desta nova forma de parada súbita [1].

Os defensores do retorno à normalidade argumentam que os óbitos causados pelo Covid-19 como proporção do total da população são inferiores àquelas mortes derivadas de outras enfermidades ou processos sociais, como assassinatos e acidentes de trânsito. E, por imposição lógica, se a economia não costuma parar em função de tais problemas, não haveria de ser impedida por efeito de um vírus ainda menos letal [1].

A presente pesquisa buscou, de modo simplificado, simular a movimentação, interação e contato entre as pessoas e risco de contaminação pelo novo Coronavírus. De maneira geral, a ideia foi que o simulador fosse capaz de representar um modelo e que este seja capaz de imitar comportamentos operacionais e humanos de um sistema real, permitindo assim extrair dados e informações desse sistema controlado e isolado. Será utilizado um sistema multiagente para simular a movimentação de pessoas em um ambiente fechado.

Pode-se chamar “agente” cada uma das entidades ativas de um determinado sistema, e pelo termo ambiente, as entidades passivas. Informações são recebidas por um agente, que raciocina sobre o ambiente e os demais agentes e determina quais ações deve fazer e quais objetivos seguir. Portanto, esse indivíduo trata-se de uma entidade ativa, isto é, capaz de dominar suas ações, diferentemente ao das noções estáticas, tais como módulos, conjunto de regras e bases de conhecimentos.

Uma possível definição é proposta por considerar o agente uma entidade, real ou abstrata, que é capaz de agir sobre ela mesma e sobre seu ambiente, que dispõe de uma representação parcial deste ambiente que, em um universo multiagente, pode comunicar-se com outros agentes, e cujo comportamento é consequência de suas observações, de seu conhecimento e das interações com outros agentes [2].

2 Metodologia

O processo de construção de um modelo baseado em agentes inicia-se com a criação de um modelo conceitual em que os requisitos básicos são identificados. Após a definição dos agentes, o próximo passo é especificar o comportamento deles. Pode-se começar com um comportamento genérico e, de forma gradativa, os ajustes poderão ser realizados para tornar o comportamento do agente mais aderente à realidade [3]. Neste trabalho foi utilizada a linguagem de programação Java. Em termos de estrutura de dados, cada agente é representado com um objeto da linguagem Java.

O simulador exibe, na sua interface, a planta baixa do imóvel que será realizada a simulação de movimentação de pessoas, com uma visão de cima dessa planta. No simulador, cada pixel da imagem da tela equivale sempre à uma área de 10 x 10 cm no mundo real. Os ambientes são apresentados em uma vista de topo [4]. Cada agente que está dentro do ambiente estudado possui uma referência no espaço que indica onde ele está localizado em determinado instante no cenário de simulação. Assim como as paredes, área livres e portas, uma localização do agente no simulador será compreendida pela combinação dos dois pontos cartesianos x, y (latitude, longitude) dentro da grade bidimensional [4].

A Figura 1a ilustra os pixels ocupados por um agente. Cada agente ocupará sempre a área de 4 x 4 pixels (16 pixels) e, convertendo para unidade de medida, cada pessoa ocupa 0,16 m². Essa dimensão é compatível com o tamanho médio de uma pessoa adulta [5].

O movimento do agente ocorre dentro de um loop (método de repetição). Esse loop é iniciado junto com a simulação e é executado até um determinado tempo pré-configurado. O intervalo entre cada loop tem relação com a velocidade do agente. Se a velocidade do agente é 1 m/s, o intervalo para ele percorrer cada pixel horizontalmente é de 0,1 segundo. A cada loop, o agente se movimenta, pixel a pixel (ocupando sempre 4 pixels horizontalmente e 4 pixels verticalmente), pelo ambiente e cada agente terá sua velocidade definida. O agente poderá movimentar-se em dezesseis direções, conforme a Figura 1b. Para se mover para o pixel 2, 4, 6 ou 8 é realizado um movimento linear (horizontal ou vertical), para o pixel 1, 3, 5 ou 7 é um movimento diagonal (45°) e, por último, movendo para o pixel 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ou 16 é realizado um deslocamento a 22,5°.

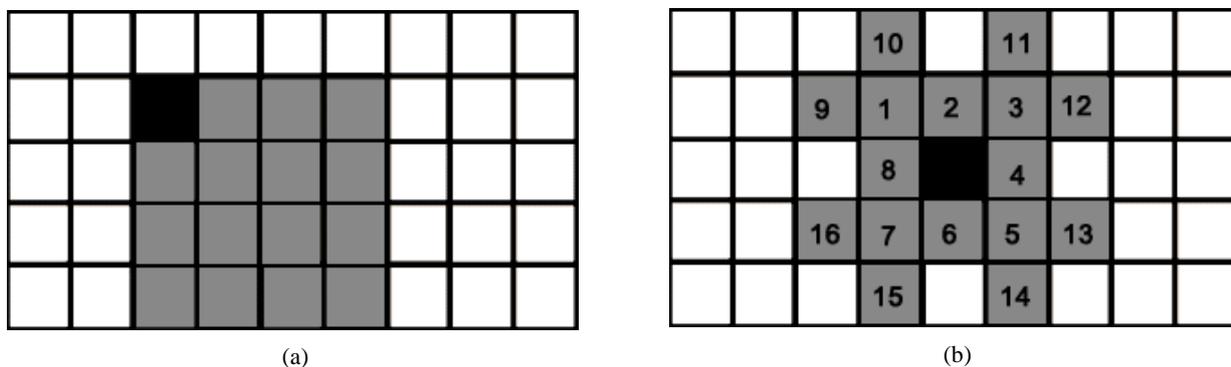


Figura 1. Pixels ocupados por um agente e possibilidade de movimento

Antes de cada movimento, o agente verifica a posição atual e calcula qual das 16 posições da imagem abaixo terá menor distância até onde se pretende mover. De acordo com o retorno, ele se movimenta, caso os 16 pixels que o agente pretende ocupar não tenha outro agente, 1 pixel para uma dessas 16 posições. A Figura 2 mostra um trecho de como é definida a direção que o agente deverá se mover. Para o modelo proposto, não está sendo considerada a possibilidade de uma nova obstrução do caminho durante a caminhada do agente [4].

```

Movimentação e contaminação

Para cada unidade de tempo:
  Para cada agente, verificar quais células poderá se mover.
  Faça:
    Verifique a posição que se pretende mover e calcula:

      Distância até a posição 1.
      Caso distância seja menor que todas as outras e não haja outro
      agente ocupando os 16 pixels que se pretende ir:
        Mover diagonalmente para a posição 1.

        Delta_time = distância / velocidade.

        Distância que deverá percorrer = distância x tamanho do
        pixel em metros.

      Distância até a posição 2.
      Caso distância seja menor que todas as outras e não haja outro
      agente ocupando os 16 pixels que se pretende ir:
        Mover verticalmente para a posição 2.

        Delta_time = distância / velocidade.

        Distância que deverá percorrer = distância x tamanho do
        pixel em metros.

      ...

      Distância até a posição 16.
      Caso distância seja menor que todas as outras e não haja outro
      agente ocupando os 16 pixels que se pretende ir:
        Mover a 22,5° para a posição 16.

        Delta_time = distância / velocidade.

        Distância que deverá percorrer = distância x tamanho do
        pixel em metros.

    Se a célula destino da pessoa está desocupada, então:
      Mova para célula.
    Senão, se a célula destino da pessoa está ocupada, então:
      Aguarde uma unidade de tempo.

    Caso o agente esteja contaminado, faça

      Caso encontre outro agente dentro da distância mínima que não esteja
      contaminado e o simulador, aleatoriamente, contemple a chance de
      contaminação, o agente contaminará esse outro.

  Atualize a posição do agente.
  Ambiente atualiza célula ocupada e/ou célula vazia.

```

Figura 2. Algoritmo de movimentação do agente

O algoritmo calcula a chance de contaminação de uma pessoa que esteja à determinada distância de outra. Para tal, o simulador utiliza o método *Random* do Java. Caso a chance de contaminação seja 12,8%, por exemplo, o método retorna um número aleatório entre 0 e 1000 e o divide por 10. Caso esse número retornado seja menor ou igual a 12,8%, a pessoa será infectada pelo vírus.

Para a validação de modelos criados, faz-se necessário realização de alguns ensaios. Alguns ensaios são mais simples, entretanto não menos importante para testar e aferir seu modelo. O teste proposto tem o objetivo de verificar se a velocidade linear de deslocamento especificada é igual à velocidade efetivamente calculada em uma simulação e a distância realmente percorrida pelo agente da sua posição inicial até a porta de saída [4].

Inicialmente, serão consideradas dois deslocamentos: uma linha reta no ambiente cuja rota ideal de deslocamento também se comporta como linha reta no ambiente movendo, considerando uma visão de cima, da esquerda para direita (movimento horizontal) e outra simulação sendo também uma linha reta no ambiente, onde o agente se move de cima para baixo (movimento vertical). Ambas podem ser vistas na Figura 3. No movimento horizontal, somente se altera a posição da coluna do agente, enquanto no movimento vertical se altera a altura até que o agente esteja na mesma altura da porta de saída e, uma vez estando, ele se moverá horizontalmente para sair do ambiente. Para isso, um agente sozinho em uma sala e sem obstruções internas (para se evitar a influência de outros agentes ou obstáculos fixos) de 50 m de largura e 50 m de

comprimento vai se deslocar até a saída. São realizadas simulações com os agentes estando a uma distância da saída de 10 m, 20 m e 40 m da saída [4].

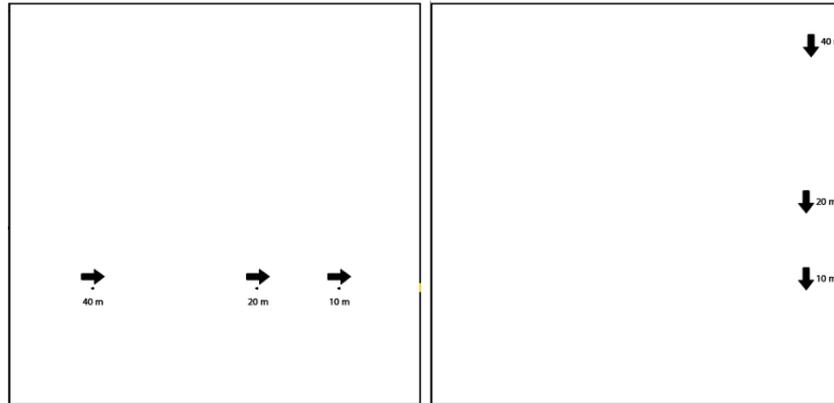


Figura 3. Representação dos agentes posicionados a diversas distâncias da saída

Os resultados da Tabela 1 indicam que não há erro no cálculo da velocidade na movimentação em linha reta. Assim sendo, considerando a distância percorrida em relação ao tempo, tem-se o valor exato da velocidade configurada inicialmente para cada agente. Percebe-se que cada agente percorre, além da distância inicial que ele estava da porta, 0,1 m. Isso ocorre porque considera-se evasão do ambiente depois que o agente faz toda a transposição da porta, ou seja, ele percorre, por exemplo, 40 m até a porta e mais 0,1 m para estar totalmente fora do ambiente [4].

Tabela 1. Comparação entre a velocidade de deslocamento especificada e a calculada

Distância e tempo total - deslocamento em linha reta									
Distância inicial da porta (m)									
Velocidade (m/s)	10		Tempo de evasão ideal	20			40		
	Distância percorrida	Tempo de evasão		Distância percorrida	Tempo de evasão	Tempo de evasão ideal	Distância percorrida	Tempo de evasão	Tempo de evasão ideal
0,5	10,1	20,2	20,2	20,1	40,2	40,2	40,1	80,2	80,2
1,0	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	40,1	40,1	40,1
1,5	10,1	6,73	6,73	20,1	13,4	13,4	40,1	26,73	26,73
2,0	10,1	5,05	5,05	20,1	10,05	10,05	40,1	20,05	20,05

3 Resultados

Nesse estudo, todas as simulações de movimentação e contato foram realizadas usaram o mesmo ambiente (planta), no caso, o Mercado Central de Belo Horizonte. Esse ambiente foi escolhido por possuir certa complexidade, muitos corredores e capacidade para muitas pessoas. A área do Mercado Central é de 14.000 m² [6].

Segundo o Jornal o Tempo [7], circulam cerca de 31 mil pessoas por dia no mercado. E, de acordo com o Hoje em Dia [8], para essa reabertura gradual com novos protocolos devido à pandemia mundial, serão permitidos apenas 370 clientes dentro do Mercado Central. Assim sendo, os seguintes cenários da Tabela 2 abaixo foram usados para realização de simulações.

No primeiro cenário, foram distribuídas 370 pessoas no ambiente (Mercado Central de Belo Horizonte), onde 5 pessoas estavam contaminadas com o Coronavírus. Depois de colocar essas pessoas no ambiente em posições aleatórias, iniciou-se o movimento com duração de 30 minutos (1800 segundos). A velocidade fixa de cada pessoa é de 1,66 m/s (6 km/h) [9]. Assim sendo, sendo essa velocidade fixa, o agente percorre cada pixel, por exemplo, horizontalmente ou verticalmente, em 0,060241 segundo. Para que uma pessoa contaminasse outra, conforme o estudo da The Lancet [10], o simulador considerou a chance de 12,8% para pessoas com distância menor que 1 metro e 2,6% para distância ente 1 e 2 metros. Em ambas situações, as pessoas estavam sem máscara.

Tabela 2. Cenários da simulação

Cenário	Total de pessoas	Contaminadas	Probabilidade transmissão à menos de 1 <	Probabilidade transmissão entre 1 e 2 m	Uso de máscara
1	370	5	13 %	2,6 %	Não
2	370	10	13 %	2,6 %	Não
3	370	50	13 %	2,6 %	Não

Ainda segundo mesmo o artigo da The Lancet, o distanciamento de pelo menos 1 metro e o uso de máscaras e proteção para os olhos ajudam a diminuir a transmissão da Covid-19, aponta um estudo que revisou 172 pesquisas relacionadas à infecção por SARS (Síndrome respiratória aguda grave), MERS (Síndrome respiratória do Médio Oriente) e Sars-CoV-2, o vírus causador da Covid-19 [10]. Nessa revisão realizada pelos autores, os cientistas observaram que a transmissão dos vírus era menor com distâncias de no mínimo 1 metro entre as pessoas. O efeito de proteção aumentava conforme a distância, com um distanciamento indicado de 2 metros ou mais se possível. Nos estudos sobre distância física, observou-se que a chance de contaminação em espaçamentos inferiores a 1 metro era de quase 13%, mas com distanciamento maior do que 1 metro era de apenas 2,6%.

De acordo com o Boletim Epidemiológico [11], a transmissibilidade dos pacientes infectados por SARS-CoV é em média de 7 dias após o início dos sintomas e acredita-se que o período pode ser o mesmo para o Novo Coronavírus (Covid-19). Assim sendo, nas nossas simulações, uma pessoa recém infectada não poderá contaminar outra pessoa.

No segundo cenário, foram distribuídas novamente 370 pessoas no mesmo ambiente e características do primeiro cenário, mas 10 pessoas estavam contaminadas com o Coronavírus. E, por último, no terceiro cenário 50 pessoas estavam infectadas por Covid-19. A Figura 4 ilustra a interface do simulador e as pessoas posicionadas no ambiente antes do início da simulação para o Cenário 1. Perceba que os pontos verdes significam pessoas não contaminadas pelo Coronavírus e os pontos vermelhos são os agentes contaminados.

Foi realizada uma simulação para cada cenário e, ao observar os resultados obtidos por essas simulações (Tabela 3), nota-se a tendência de mais pessoas contaminadas quando, no início da simulação, tem-se mais contaminados que podem transmitir o vírus. Nessa mesma tabela, é possível identificar a relação de contatos entre pessoas sem a contaminação e os novos infectados. Entende-se contatos sem contaminação quando uma pessoa contaminada esteve à menos de 2 metros de outra não contaminada, mas, conforme dito acima, devido à probabilidade de contaminação ser apenas 13% ou 2,6% de acordo com a distâncias [10], essas pessoas não foram contaminadas.

A Figura 5 mostra, para cada cenário, a evolução do número de contaminados ao longo dos minutos da simulação. Conforme pode-se perceber, claramente o número de novos infectados será maior quando mais contaminados existirem no início da simulação.

Tabela 3. Contatos sem e com contaminação

Cenário	Contatos sem contaminar	Novos contaminados	%
1	2.190	21	0,96 %
2	4.628	69	1,49 %
3	16.125	243	1,51 %

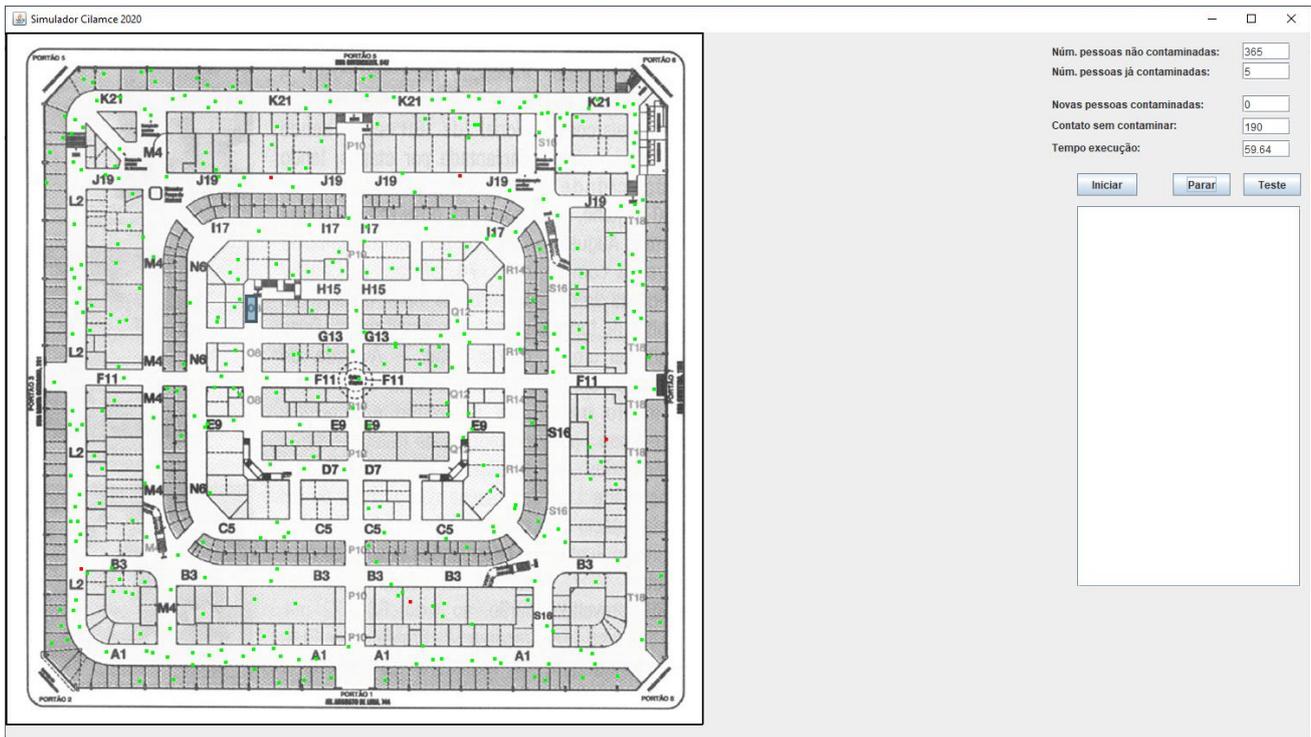


Figura 4. Interface do simulador com agentes ocupando ambiente no Cenário 1



Figura 5. Evolução do número de novos contaminados

4 Conclusão

O presente trabalho buscou realizar uma simulação multiagente onde pessoas (agentes) estariam frequentando determinado ambiente com grande circulação de clientes e comerciantes. O desafio foi munir o agente de características humanas, como velocidade, direção da caminhada e estado de contaminação pelo novo Coronavírus. O uso da planta do Mercado Central de Belo Horizonte possibilitou ter um ambiente grande e complexo, com muitos corredores e lojas. Essas características permitiram que muitos agentes fossem inseridos na simulação e permite, ainda, várias outras combinações de cenários iniciais.

A escolha de sistema multiagente se deu porque espera-se que as simulações busquem estar o mais próximo possível da realidade. A tecnologia multiagente permite que a comunidade acadêmica, pesquisadores e centros de estudo possam realizar várias simulações, com possibilidades de diferentes cenários e diversas técnicas. Em um trabalho futuro, pensa-se em calcular a taxa de transmissão desses agentes dentro de determinado cenário.

References

- [1] Ferrari, Andrés; Cunha, André Moreira. A pandemia de Covid-19 e o isolamento social: saúde versus economia, UFRGS, 2020.
- [2] FERBER, J.; GASSER, L. Intelligence artificielle distribuée. In: International Workshop on Expert Systems & Their Applications, 10., 1991, Avignon. Cours n. 9. France: [s.n], 1991.
- [3] MACAL, C., NORTH, M. Agent-based modeling and simulation. In Winter Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009, pages 86-98, 2009.
- [4] Gomes, Victor Geraldo. Uma abordagem multiagente para simulações de movimentação de multidões e de evacuação. Belo Horizonte, CEFET-MG, 2019. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional).
- [5] STILL, G.K., Crowd dynamics. Department of Mathematics (University of Warwick), 2000, 280 p. Tese (Doctor of Philosophy in Mathematics).
- [6] <https://mercadocentral.com.br>.
- [7] Moraes, Gabriel. Com exceção de bares e restaurantes, lojas do Mercado Central de BH vão reabrir, Jornal o Tempo, <https://www.otempo.com.br/cidades/com-excecao-de-bares-e-restaurantes-lojas-do-mercado-central-de-bh-vaio-reabrir-1.2337391>, acesso em 01/08/2020.
- [8] ROCHA, Anderson. Mercado Central de BH anuncia reabertura de lojas não essenciais; bares seguem fechados, <https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/mercado-central-de-bh-anuncia-reabertura-de-lojas-n%C3%A3o-essenciais-bares-seguem-fechados-1.786687>, acesso em 20/06/2020.
- [9] MONTEIRO, Wallace David; ARAÚJO, Claudio Gil Soares. Transição caminhada-corrída: considerações fisiológicas e perspectivas para estudos futuros, Revista Brasileira de Medicina do Esporte, Vol. 7, Nº 6 – nov/dez, 2001.
- [10] CHU, Derek K; AKL, Elie A; DUDA, Stephanie; SOLO, Karla; YAACOUB, Sally; SCHÜNEMANN, Holger J. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis, The Lucent, Volume 395, ISSUE 10242, P1973-1987, 2020.
- [11] Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Doença pelo Novo Coronavírus 2019 - COVID-19, Brasília, v. 03, fev/2020.