

SISTEMA MULTIAGENTE PARA SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DA COVID-19 UTILIZANDO A PLATAFORMA GAMA

BRUNO CASCAES ALVES¹, BRUNO DA CRUZ BRAGA¹,
MÍRIAM BLANK BORN¹, MARILTON SANCHOTENE DE AGUIAR¹

¹*Universidade Federal de Pelotas – {bcalves, bcbraga, mbborn, marilton}@inf.ufpel.edu.br**

1. INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença infecciosa, causada pelo coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2, do inglês *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*), identificado na China em dezembro de 2019. Com elevada capacidade de transmissão, o vírus infectou mais de 7,6 milhões de pessoas no Brasil apenas no primeiro ano, resultando em cerca de 195 mil mortes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2025). Mesmo com a disseminação de anticorpos na população, adquiridos por vacinação ou infecção prévia, o vírus segue exigindo atenção, uma vez que novas variantes continuam surgindo, como a NB.1.8.1 (URIU et al., 2025).

A crise da COVID-19 afetou diversos setores da sociedade, mas de forma desigual entre a população. Segundo (MATTIA; REGO; SOUTO, 2021), moradores de regiões vulneráveis foram os mais afetados, tanto pela maior exposição ao vírus quanto pelas dificuldades de acesso ao sistema de saúde. Considerando fatores sociais, clínicos e preventivos que influenciam a dinâmica da pandemia, pode-se representar esse fenômeno por um sistema multiagente, composto por agentes autônomos que interagem em um ambiente dinâmico (WOOLDRIDGE, 2009).

Neste contexto, este estudo propõe a construção de um sistema multiagente na plataforma GAMA (TAILLANDIER et al., 2019), visando simular a propagação do vírus causador da COVID-19. A modelagem considera aspectos sociais e características clínicas da população, como densidade demográfica e comorbidades.

2. METODOLOGIA

Nesta seção será apresentado o sistema desenvolvido na plataforma GAMA, utilizando agentes para simular a disseminação do SARS-CoV-2.

No sistema proposto, os agentes Pessoa seguem a dinâmica do modelo SIR (SAHNEH; SCOGLIO; MIEGHEN, 2012), sendo classificados como: Suscetíveis (S) – indivíduos verdes, ainda não contaminados e propensos ao contágio; Infectados (I) – indivíduos vermelhos, capazes de transmitir, com chances de recuperação ou morte; e, Recuperados (R) – indivíduos azuis, imunes após infecção.

Além do estado de saúde, cada agente apresenta atributos que influenciam a disseminação e a gravidade da COVID-19, como idade, comorbidades, isolamento, vacinação, uso de máscara e acesso ao sistema de saúde. No modelo proposto, a vacinação reduz em 80% a progressão para casos graves, enquanto o acesso a tratamento diminui em 75% a probabilidade de óbito. A população é dividida em crianças (0–14 anos), adultos (15–59 anos) e idosos (60 anos ou mais).

O sistema permite considerar características epidemiológicas das variantes *Alpha* (VOLZ et al., 2021), *Delta* (SHEIKH et al., 2021) ou *Omicron* (KARIM; KARIM, 2021). Os parâmetros considerados incluem: i) raio de transmissão — distância máxima para contágio; ii) taxa de transmissão — probabilidade de infecção por

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

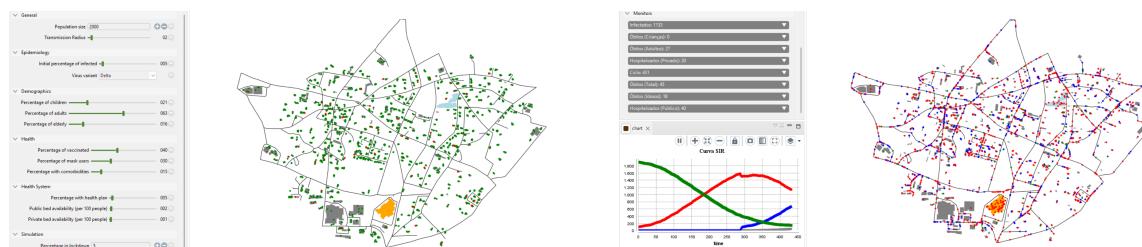
contato próximo; iii) duração da infecção — tempo em que a pessoa permanece infectada; e, iv) taxa de mortalidade — probabilidade de óbito por faixa etária.

A Tabela 1 apresenta a parametrização epidemiológica por variante utilizada neste estudo. A *Omicron* apresenta maior transmissibilidade (KARIM; KARIM, 2021); a *Delta* destaca-se pela alta mortalidade, associada a surtos graves em vários países (SHEIKH et al., 2021); e a *Alpha* apresenta valores intermediários (VOLZ et al., 2021). Os valores foram definidos de forma arbitrária para exemplificação e podem ser ajustados conforme a situação observada no mundo real.

Tabela 1: Parametrização epidemiológica por variante do SARS-CoV-2.

Variante	Taxa de Transmissão	Taxa de Mortalidade		
		Crianças	Adultos	Idosos
<i>Alpha</i>	8%	0,2%	2%	6%
<i>Delta</i>	12%	0,4%	4%	12%
<i>Omicron</i>	16%	0,1%	1%	3%

O ambiente de simulação é estruturado em uma grade bidimensional, conforme ilustrado na Figura 1. Os agentes do tipo Pessoa são representados por círculos coloridos. Os prédios e as casas, incluindo um hospital público (laranja) e um privado (azul claro), são modelados como agentes do tipo Construção, por padrão em cinza. Por fim, ruas e vias de circulação (em preto), são representadas por agentes do tipo Estrada. As construções e estradas foram geradas a partir de *shapefiles* disponibilizados na própria plataforma GAMA. O cenário foi definido de forma arbitrária para representar uma comunidade de alta densidade populacional.



(a) Estado inicial do ambiente de simulação, incluindo os parâmetros configuráveis.

(b) Simulação em execução, incluindo monitoramento e gráfico do modelo SIR.

Figura 1: Ambiente de simulação desenvolvido na plataforma GAMA.

Inicialmente, os indivíduos são distribuídos aleatoriamente nas construções, conforme mostra a Figura 1a. Os aspectos desses agentes – idade, vacinação, uso de máscara, comorbidade, plano de saúde e isolamento, são definidos probabilisticamente por meio de parâmetros. Os agentes se movimentam livremente, exceto quando desenvolvem sintomas graves ou estão em isolamento. A escolha entre hospitais públicos e privados depende da posse de plano de saúde. Por padrão, a capacidade hospitalar é de 2% da população em leitos públicos e 1% em privados.

A simulação ocorre em ciclos de tempo (*ticks*), onde 24 ciclos representam um dia. Durante esse período, os agentes Pessoa realizam ações como movimentação, interação e progressão da doença, até que não restem infectados no ambiente. O sistema desenvolvido fornece indicadores em tempo real, como curvas SIR, ocupação hospitalar e mortalidade da faixa etária, permitindo analisar o

impacto de diferentes políticas de saúde, como ampliação de leitos. A Figura 1b ilustra um cenário de surto da variante *Delta* em uma comunidade vulnerável, com alta densidade populacional e acesso limitado ao sistema de saúde, evidenciado pela predominância de infectados em vermelho e hospitais sobrecarregados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta Seção serão apresentados os resultados deste estudo, com a discussão dos cenários simulados da COVID-19 desenvolvidos na plataforma no GAMA.

A Tabela 2 resume as taxas de mortalidade por faixa etária para a variante *Delta*, em uma população de 2 mil indivíduos (5% inicialmente infectados), composta por 16% de idosos, 63% de adultos e 21% de crianças. Os cenários variam a proporção de comorbidades, vacinação, uso de máscara, isolamento social e acesso à saúde (25% ou 75%), mantendo os demais fatores desativados.

Os resultados indicam que a ausência de medidas preventivas resulta em alta mortalidade, especialmente entre adultos e idosos. As comorbidades elevaram a taxa geral de 6,55% para 8,15%, enquanto a vacinação reduziu de 5% para 2,45%, com queda de 51%. O isolamento social foi a medida mais eficaz, reduzindo a mortalidade para 1,65% com 75% de adesão. O uso de máscaras teve impacto mais modesto, apesar da redução de 22,02% em mortes, e o acesso ao plano de saúde apresentou efeito limitado em cenários com leitos esgotados. As comorbidades foram consideradas de forma genérica, sem distinção entre tipos.

Tabela 2: Comparação das taxas de mortalidade por faixa etária em diferentes cenários simulados com a variante *Delta* da COVID-19.

Cenário	Crianças	Adultos	Idosos	Total
Comorbidades: 25%	0,48%	5,24%	19,69%	6,55%
Comorbidades: 75%	1,67%	7,14%	20,63%	8,15%
Isolamento: 25%	0,48%	5,95%	15,31%	6,3%
Isolamento: 75%	0,48%	1,35%	4,38%	1,65%
Máscara: 25%	0,71%	4,69%	14,69%	5,45%
Máscara: 75%	0,48%	3,89%	10,63%	4,25%
Plano de Saúde: 25%	0,48%	5,56%	15,63%	6,1%
Plano de Saúde: 75%	0,24%	4,84%	12,5%	5,1%
Vacinação: 25%	0,48%	4,21%	14,06%	5%
Vacinação: 75%	0,23%	2,22%	6,25%	2,45%

Por fim, a Tabela 3 apresenta dados comparativos entre três variantes em um cenário com 40% da população vacinada, 30% com máscaras, 15% com comorbidades, 5% em isolamento social e 5% com acesso ao plano de saúde. A *Delta* causou a maior taxa de mortalidade (3,7%), mostrando sua gravidade, seguido pela *Alpha* (1,6%). A *Omicron*, embora mais transmissível, foi associada a menor taxa de óbitos (1,1%), comparada às demais variantes analisadas.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi desenvolvida uma modelagem multiagente na plataforma GAMA para simular a propagação da COVID-19, considerando fatores como densidade populacional, acesso à saúde, comorbidades, medidas preventivas, faixa

Tabela 3: Comparação das taxas de mortalidade por faixa etária entre variantes simuladas do SARS-CoV 2.

Variante	Crianças	Adultos	Idosos	Total
<i>Alpha</i>	0%	1,43%	4,38%	1,6%
<i>Delta</i>	0,48%	3,25%	9,69%	3,7%
<i>Omicron</i>	0%	1,11%	2,5%	1,1%

etária e características das variantes. Os resultados destacam a importância do acesso ao tratamento de saúde, especialmente em comunidades vulneráveis, além do impacto decisivo da vacinação e do isolamento social na redução de mortes. Destaca-se que as comorbidades aumentam significativamente a gravidade da infecção, evidenciando a necessidade de políticas de atenção a esses grupos. A variante *Delta* foi a mais mortal entre as analisadas. Como trabalhos futuros, pretende-se incorporar reinfecções e tipos específicos de comorbidades, reforçando a relevância contínua do monitoramento diante do surgimento de novas variantes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KARIM, S. S. A.; KARIM, Q. A. Omicron sars-cov-2 variant: a new chapter in the covid-19 pandemic. **The Lancet**, Elsevier, v. 398, n. 10317, p. 2126–2128, 2021.
- MATTA, G. C.; REGO, S. P.; SOUTO, F. (Ed.). **Os impactos sociais da Covid-19 no Brasil: populações vulnerabilizadas e respostas à pandemia**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2021.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Covid-19 no Brasil**. 2025. Disponível em: https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html. Acesso em: 7 jun. 2025.
- SAHNEH, F. D.; SCOGLIO, C.; MIEGHEN, P. V. Generalized epidemic mean-field model for spreading processes over multilayer complex networks. **IEEE/ACM Transactions on Networking**, IEEE, v. 21, n. 5, p. 1609–1620, 2012.
- SHEIKH, A.; MCMENAMIN, J.; TAYLOR, B.; ROBERTSON, C. Sars-cov-2 delta variant in scotland: demographics, risk of hospital admission, and vaccine effectiveness. **The Lancet**, Elsevier, v. 397, n. 10293, p. 2461–2462, 2021.
- TAILLANDIER, P.; GAUDOU, B.; GRIGNARD, A.; NGHI, H. Q.; MARILLEAU, N.; CAILLOU, P.; PHILIPPON, D.; DROGOUL, A. Building, composing and experimenting complex spatial models with the gama platform. **GeoInformatica**, v. 23, 04 2019.
- URIU, K.; OKUMURA, K.; UWAMINO, Y.; CHEN, L.; TOLENTINO, J. E.; ASAKURA, H.; NAGASHIMA, M.; SADAMASU, K.; YOSHIMURA, K.; ITO, J. et al. Virological characteristics of the sars-cov-2 variant. **The Lancet Infectious Diseases**, Elsevier, 2025.
- VOLZ, E.; MISHRA, S.; CHAND, M. et al. Assessing transmissibility of sars-cov-2 lineage b.1.1.7 in england. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 593, n. 7858, p. 266–269, 2021.
- WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent Systems**. 2nd. ed. Chichester, West Sussex, England: Wiley, 2009.