



SISTEMA BASEADO EM REGRAS FUZZY PARA AVALIAR RISCO DE CONTAMINAÇÃO COM COVID-19

Renato Gondim Rios¹ - renato.prof0@gmail.com
Mônica Helena Ribeiro Luiz¹ - monicahrl@ifsp.edu.br
Marco Aurélio Granero¹ - granero@ifsp.edu.br

¹Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Departamento de Ciências e Matemática - São Paulo, SP, Brasil

Resumo: Neste trabalho é apresentado um modelo matemático fuzzy para avaliar o risco de contaminação pelo novo coronavírus SARS-CoV-2, causador da pandemia de COVID-19. Para isso, é elaborado um Sistema Baseado em Regras Fuzzy utilizando o método de inferência de Mamdani e o método de defuzzificação pelo centro de massa. São consideradas as variáveis de entrada febre, tosse, dispnéia e mialgia, a variável de saída é o risco de um indivíduo estar infectado com COVID-19. Uma vez que estas variáveis podem ser descritas por termos subjetivos, o modelo fuzzy elaborado é capaz de fornecer uma resposta satisfatória ao fenômeno estudado.

Palavras-chave: Sistema Baseado em Regras Fuzzy; Modelagem Matemática; COVID-19

1. Introdução

A doença COVID-19 é causada pela infecção por um vírus da síndrome respiratória aguda grave, o coronavírus SARS-CoV-2. Não se sabe ao certo a origem deste vírus, mas sabe-se que ele emergiu no final de 2019 em Wuhan, Província de Hubei, China, e rapidamente se disseminou por todos os continentes (ISER et al., 2020, p.2).

Devido ao crescente número de casos ao redor do mundo, em 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) admitiu tratar-se de uma pandemia (OMS, 2020), a qual já levou a óbito mais de 4 milhões de pessoas desde o primeiro caso detectado da doença, registrado em dezembro de 2019 (CSSE-JHU, 2021). Estima-se que ela cause a morte de aproximadamente 2% das pessoas infectadas.

A COVID-19 se apresenta de maneira muito semelhante a outras doenças do trato respiratório, como a gripe e o resfriado. Segundo Llor e Moragas (2020, tradução do autor), “os sintomas mais comuns incluem febre, tosse e dispnéia, mas em alguns casos também pode haver sintomas digestivos”. Já segundo Iser et al. (2020), os cinco sintomas mais comuns são: febre (temperatura maior ou igual a 37,8°C), tosse, dispnéia (dificuldade respiratória), mialgia e fadiga.

Apesar de já haver vacina para a prevenção de casos graves da doença, é possível fazer um diagnóstico da infecção de coronavírus através de exames laboratoriais como o da reação da transcriptase reversa seguida pela reação em cadeia da polimerase (RT-PCR) ou da amplificação isotérmica mediada por alça com transcrição reversa (RT-LAMP), demandando tempo e custos para coleta e análise dessas informações. Portanto, a elaboração de um modelo que auxilie a identificar o risco de estar infectado após apresentar os sintomas característicos da doença faz-se útil para auxiliar a detecção de possíveis casos de infecção e, assim, poder adotar estratégias para o controle da disseminação da doença.

Em contrapartida, não é trivial avaliar o quão fortes podem ser os sintomas apresentados. Note que o paciente pode relatar, por exemplo, “pouca tosse” e “muita falta de ar”, termos linguísticos considerados subjetivos sob o ponto de vista matemático. Neste sentido, é viável modelar tais sintomas por meio da Teoria de Conjuntos Fuzzy, a qual permite considerar incertezas e subjetividades características do fenômeno.

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy foi apresentada inicialmente por Lofti Asker Zadeh, em 1965, conforme Zadeh (1965). Nesta teoria, Zadeh propõe uma extensão da Teoria Clássica de Conjuntos, na qual se considera que um elemento x pertence ou não pertence a um dado conjunto A . Na Teoria de Conjuntos Fuzzy, passa-se a considerar um grau de pertencimento de x a este conjunto, ou seja, x pode pertencer ao conjunto A com um grau de pertinência específico. Assim, quanto mais próximo de 0 (1) é o grau de pertinência do elemento x , menor (maior) é seu pertencimento ao conjunto A . Os graus de pertinência 0 e 1 indicam, respectivamente, a pertinência nula e total do elemento ao conjunto.

A Teoria de Conjuntos Fuzzy possibilitou, segundo Bassani et al. (2016), o armazenamento de dados impre-



cisos nos computadores, podendo gerar respostas com base em informações subjetivas, assim como ocorre em diversas situações cotidianas.

Uma das aplicações dessa teoria é o Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF). Seguindo as definições de Corcoll-Spina (2010), “um SBRF é um sistema que se utiliza da lógica fuzzy para produzir saídas para cada entrada fuzzy”.

Deste modo, compõe um SBRF os termos ou variáveis linguísticas que são os elementos que representam conceitos ou variáveis de um determinado problema. A tradução desses termos em funções matemáticas, através da Teoria de Conjuntos Fuzzy, permite a aplicação de processos de controle e automação de tarefas, uma vez que associa cada termo subjetivo a uma função de pertinência. Estas correspondem às entradas e saídas fuzzy do SBRF.

Uma possibilidade que surge para a aplicação desses conceitos ocorre na área de Biomatemática, por exemplo, ao auxiliar no diagnóstico médico para avaliar o risco de infecção de doenças, tais como a COVID-19.

Assim, o objetivo central deste trabalho é elaborar um modelo matemático utilizando a Teoria dos Conjuntos Fuzzy que permita avaliar o risco de indivíduos que apresentam sintomas relacionados à COVID-19 estarem infectados com tal doença.

2. Metodologia

A Modelagem Matemática é uma ferramenta que vem sendo utilizado nas mais diversas áreas do conhecimento, uma vez que permite representar e avaliar os mais diversos fenômenos. Para tal estudo, a principal fonte de aprofundamento teórico foi o trabalho de Bassanezi (2002).

Como aponta o autor, para a utilização do processo de Modelagem Matemática, como metodologia de pesquisa, devem ser cumpridas as etapas de Experimentação, Abstração, Resolução, Validação e Modificação. Tais etapas guiarão a aplicação da Teoria dos Conjuntos Fuzzy ao fenômeno biológico em questão.

Acerca da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, buscou-se estudar seus preceitos iniciais e seus desdobramentos abrangendo os conceitos relacionados aos SBRF. Para aprofundamento sobre o tema, as principais fontes foram os trabalhos de Barros e Bassanezi (2006) e Corcoll-Spina (2010).

Conforme mencionado, é possível construir uma automação de tarefas baseando-se no SBRF. Porém, para que essa automação se concretize, é necessário seguir um roteiro para que ela possa ser concluída.

Fazem parte desse roteiro as etapas de módulo de fuzzificação (modelagem por conjuntos fuzzy considerando seus respectivos domínios), módulo da base de regras (composto pelas proposições fuzzy), módulo da inferência fuzzy (no qual “se traduz” matematicamente cada uma das proposições fuzzy) e módulo de defuzzificação (processo que permite representar um conjunto fuzzy por um valor real).

Com isto, uma vez estabelecidas as variáveis linguísticas e seus respectivos subconjuntos fuzzy, uma base de regras fuzzy será elaborada utilizando-se o método de inferência de Mamdani, com regras do tipo:

$$\text{“Se } x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B, \text{ então } z \text{ é } C\text{”},$$

sendo A , B e C conjuntos fuzzy. O método de defuzzificação utilizado é o centro de massa, que pode ser consultado em Barros e Bassanezi (2006).

Com relação ao fenômeno biológico, foi avaliado o risco de um indivíduo apresentando sintomas relacionados ao coronavírus estar infectado com COVID-19. Para tal, foram consultadas referências que apresentam estudos relacionados à COVID-19 e seus principais sintomas: febre, tosse, dispneia e mialgia, buscando-se uma métrica que pudesse escalonar cada um deles.

3. Resultado e discussão

Para estabelecer um SBRF que permita quantificar a possibilidade de um indivíduo estar infectado com COVID-19 após apresentar algum sintoma da doença, foram elencados os quatro sintomas mais comuns, conforme sugerem as bibliografias sobre o tema: febre, tosse, dispneia e mialgia. Para cada uma das entradas, foram atribuídas classificações de acordo com a gravidade de cada sintoma.

Para o sintoma febre, foi adotado o estudo de Voltarelli (1994) que quantifica sua magnitude em baixo ou em alto grau. Seguindo seus estudos, estabeleceu-se os conjuntos fuzzy Baixo Grau e Alto Grau no intervalo de 35 °C e 42 °C (Figura 1 (a)).



Para o sintoma tosse, foi considerado o Pico de Fluxo da Tosse (PFT). O aparelho medidor fornece um valor que indica a eficácia da tosse. Nesse caso, quanto maior o valor medido, menor o risco do paciente estar com tosse relacionada a alguma enfermidade. Tomando como referência o trabalho de Santos et al. (2019), o intervalo adotado para essa medida varia de 100 L/min a 320 L/min e os conjuntos fuzzy foram adotados com relação à sua eficácia: Ineficaz, Média e Eficaz (Figura 1 (b)).

Para o sintoma dispneia, o conjunto fuzzy modelado foi baseado na aferição através do Índice Basal Modificado de Mahler. Neste método, segundo Velloso, Costa e Ozeki (2002), a dispneia é quantificada através de um *score* variando de 0 a 12. Quanto menor o valor, mais grave está a dispneia. Como não há gradações estipuladas para a gravidade desse sintoma, adotou-se as classificações: Ausente, Leve, Moderada e Intensa (Figura 1 (c)).

Para o sintoma mialgia, Sousa e Silva (2005) sugerem a Escala Analógica Visual para quantificar a magnitude de dor do paciente. Esta escala consiste em uma linha de 10 cm, na qual o paciente indica a magnitude da dor marcando-a. Quanto mais próximo dos 10 cm, pior é a dor sentida pelo paciente. Para esta variável, foram adotados os conjuntos fuzzy Leve, Moderada e Intensa (Figura 1 (d)).

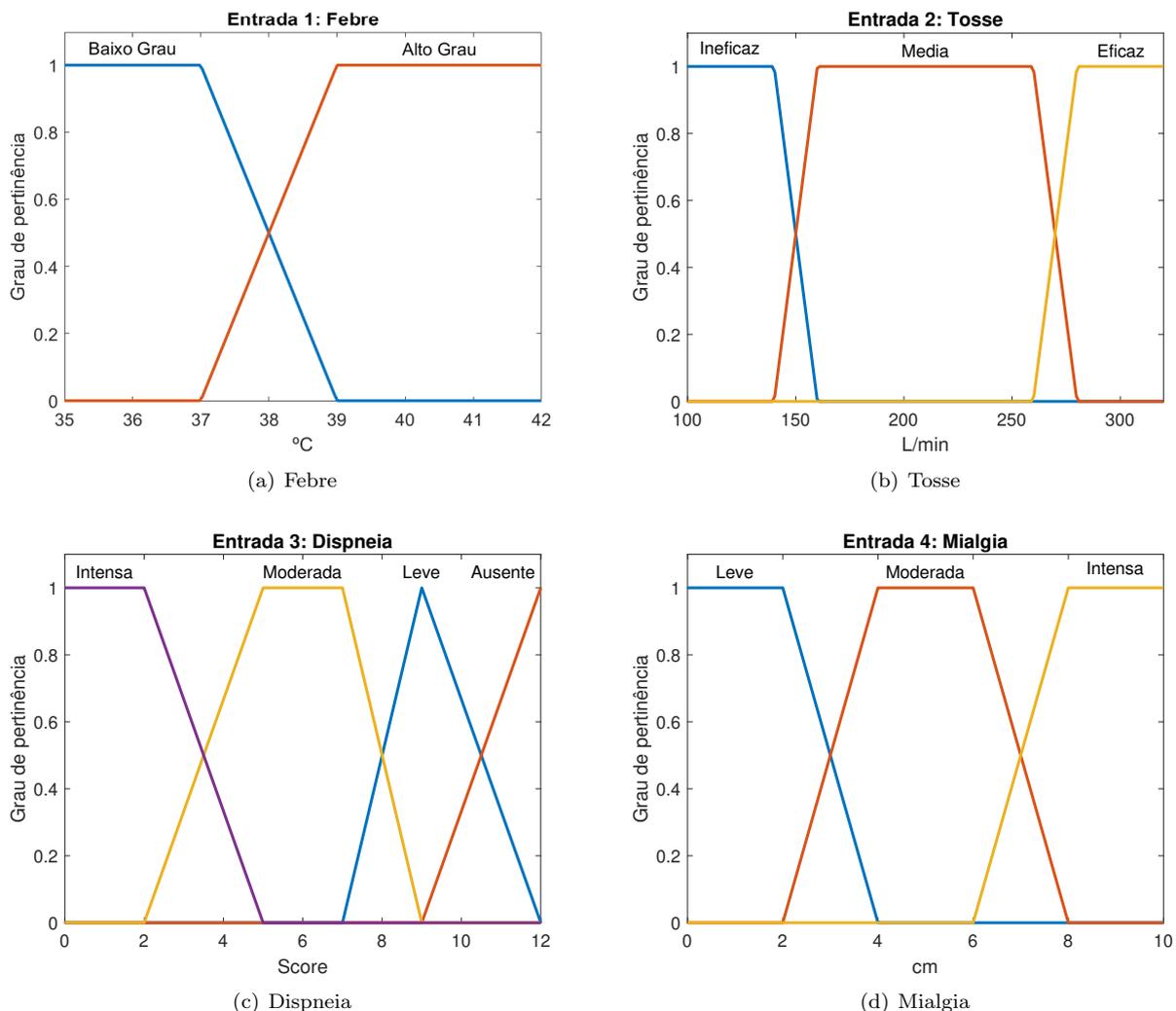


Figura 1: Distribuição fuzzy das variáveis de entrada: (a) Febre; (b) Tosse; (c) Dispneia; (d) Mialgia.
Fonte: Autoria própria.

A saída deste sistema é o risco de um indivíduo que apresenta os sintomas representados na Figura 1 estar



infectado com COVID-19, sendo ela quantificada no intervalo $[0, 10]$, onde 0 significa baixa possibilidade de estar com a doença, e 10, alta possibilidade.

Além disso, o SBRF foi formulado levando-se em conta estudos sobre os sintomas mais comuns da doença, bem como a influência de cada um deles no prognóstico de COVID-19, sendo adotados os conjuntos fuzzy: Baixo, Médio e Alto, os quais podem ser observados na Figura 2.

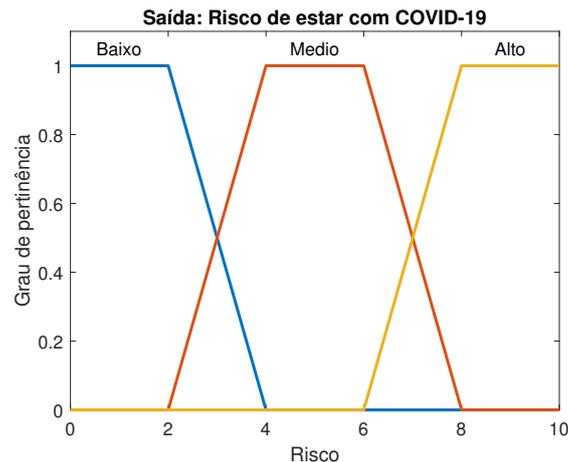


Figura 2: Distribuição Fuzzy da Variável de Saída: Risco de estar contaminado. Fonte: Autoria própria.

A fim de exemplificar, considere um paciente fictício que apresenta temperatura corporal de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (febre de Baixo Grau), tosse de 226 L/min (tosse de eficácia Média), Índice Basal de Mahler com *score* 12 (dispneia Ausente) e grau 7 de mialgia na Escala Analógica Visual (Mialgia Moderada ou Intensa).

Considerando a base de regras adotada para tal estudo, tem-se:

Se a febre é de Baixo Grau, **E** a tosse é Média, **E** a dispneia é Ausente, **E** a mialgia é Moderada
Então o risco de estar contaminado é Baixo.

Se a febre é de Baixo Grau, **E** a tosse é Média, **E** a dispneia é Ausente, **E** a mialgia é Intensa
Então o risco de estar contaminado é Médio.

Utilizando o método de defuzzificação pelo centro de massa, o resultado obtido para tal caso é um risco de 3,73 pontos do paciente estar infectado, ou seja, tal paciente apresenta 0,14 e 0,86 no grau de pertinência em risco baixo e risco médio de estar com COVID-19. O que faz dele um paciente que apresenta alguma possibilidade de estar infectado pelo coronavírus devendo manter-se em isolamento domiciliar e realizar os exames laboratoriais para confirmar ou não tal possibilidade, conforme orienta Ministério da Saúde (BR) e Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde (2020, p. 62)

4. Conclusões

No presente trabalho foram aplicados conceitos da Teoria de Conjuntos Fuzzy ao elaborar um SBRF para estimar o risco de um paciente estar infectado com COVID-19 após apresentar sintomas relacionados a essa doença.

Tal modelo mostra-se relevante para auxiliar a identificar casos de contaminação com COVID-19, uma vez que considera os principais sintomas para avaliar o risco de estar infectado com a doença. Assim, pode-se sugerir utilizá-lo em um processo de triagem, antes de serem solicitados exames laboratoriais mais específicos com custos envolvidos.

É importante destacar que mais estudos devem ser feitos para corroborar e validar a eficácia do método aqui apresentado. Ademais, também é importante uma avaliação em maior escala aos pacientes que apresentam doenças crônicas cujos sintomas estejam relacionadas aos sintomas aqui considerados.



Além disso, surge a oportunidade de, futuramente, complementar o modelo proposto contemplando outros sintomas menos comuns da doença como variáveis de entrada no SBRF para que o diagnóstico prévio do coronavírus seja ainda mais fidedigno.

Referências

- BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. 2. ed. Campinas: Coleção IMECC, 2006. Citado na página 2.
- BASSANEZI, R. C. *Ensino-Aprendizagem com Modelagem Matemática*. 4. ed. Campinas: Contexto, 2002. Citado na página 2.
- BASSANI, L. T. et al. Sistema de base de regras fuzzy como método alternativo para avaliar o risco de doenças cardiovasculares. [sn], 2016. Citado na página 1.
- CORCOLL-SPINA, C. O. *Lógica fuzzy: reflexões que contribuem para a questão da subjetividade na construção do conhecimento matemático*. Tese (Doutorado) — FE-USP, São Paulo, 2010. Citado na página 2.
- CSSE-JHU. *Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)*. 2021. Disponível em: <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>. Citado na página 1.
- ISER, B. P. M. et al. Definição de caso suspeito da covid-19: uma revisão narrativa dos sinais e sintomas mais frequentes entre os casos confirmados. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, SciELO Brasil, v. 29, 2020. Citado na página 1.
- LLOR, C.; MORAGAS, A. Coronavirus y atención primaria. *Atencion Primaria*, Elsevier, v. 52, n. 5, p. 294, 2020. Citado na página 1.
- Ministério da Saúde (BR); Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde. *Diretrizes para diagnóstico e tratamento da COVID-19*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, 2020. Citado na página 4.
- OMS, O. M. da S. *OMS afirma que COVID-19 é agora caracterizada como pandemia*. 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/news/11-3-2020-who-characterizes-covid-19-pandemic>. Citado na página 1.
- SANTOS, W. P. dos et al. Pico de fluxo da tosse em pacientes idosos com pneumonia adquirida na comunidade em tratamento hospitalar/cough flow peak in elderly patients with pneumonia acquired in the hospital treatment community. *ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA*, v. 13, n. 48, p. 839–851, 2019. Citado na página 3.
- SOUSA, F. F.; SILVA, J. d. A métrica da dor (dormetria): problemas teóricos e metodológicos. *Rev Dor*, v. 6, n. 1, p. 469–513, 2005. Citado na página 3.
- VELLOSO, M.; COSTA, C. P.; OZEKI, C. M. Métodos de mensuração da dispnéia: uma revisão da literatura. *ConScientiae Saúde*, v. 1, p. 35–39, 2002. Citado na página 3.
- VOLTARELLI, J. C. Febre e inflamação. *Medicina, Ribeirão Preto*, v. 27, n. 1/2, p. 7–48, 1994. Citado na página 2.
- ZADEH, L. A. Information and control. *Fuzzy sets*, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965. Citado na página 1.