

# Um modelo de evolução de COVID-19 para o município de Rio Claro (SP) com sistemas baseados em regras fuzzy

Gilberto M. L. Silva<sup>1</sup> Renata Z. G. Oliveira<sup>2</sup>  
Departamento de Matemática, IGCE – UNESP, Rio Claro/SP.

**Resumo.** No início da pandemia de COVID-19, Dhiman e Sharma (2020) utilizaram um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF) para identificar e mostrar o grau de severidade dessa doença em um indivíduo. Diversos artigos foram divulgados na tentativa de entender e prever a evolução da doença. Neste trabalho, apresentamos um modelo de evolução do COVID-19 no município de Rio Claro/SP utilizando um SBRF, considerando duas variáveis de entrada (isolamento social e número de novos casos), uma de saída (aumento do número de casos) e duas bases de regras. Apesar de ser um modelo simples, as conclusões foram muito satisfatórias e o SBRF mostrou ser eficiente na modelagem do problema, considerando um período antes do início da vacinação.

**Palavras-chave:** Controladores fuzzy; lógica fuzzy; coronavírus.

## 1. Introdução

Segundo o Ministério da Saúde (2021), o Coronavírus (COVID-19) é uma doença causada pelo novo SARS-CoV-2, que é um betacoronavírus descoberto em amostras de lavado broncoalveolar obtidas de pacientes com pneumonia de causa desconhecida na cidade de Wuhan, província de Hubei, China, em dezembro de 2019.

A infecção pelo SARS-CoV-2 pode variar de casos assintomáticos e manifestações clínicas leves até quadros moderados, graves e críticos. Os sintomas mais comuns do caso leve são tosse, dor de garganta ou coriza, seguido ou não

---

<sup>1</sup>gilberto.murilo@unesp.br

<sup>2</sup>renata.zotin@unesp.br

de anosmia, ageusia, diarreia, dor abdominal, febre, calafrios, mialgia, fadiga e/ou cefaleia.

Limitar o contato próximo entre pessoas infectadas e outras pessoas é importante para reduzir as chances de transmissão do SARS-CoV-2. Além do isolamento social, o Ministério da Saúde (2021) recomenda a manutenção de uma distância física de pelo menos um metro entre as pessoas, assim como outras maneiras de prevenção que devem ser adotadas, dentre elas higienização das mãos, evitar tocar os olhos, nariz e boca e uso de máscaras.

Desde o início da pandemia mundial de COVID-19, diversos artigos relacionados ao assunto foram publicados. Dentre eles, temos o artigo de Sousa et al. (2020) que utiliza um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF) para fazer um pré-diagnóstico da situação de um paciente que está com suspeita de COVID-19. O sistema utiliza oito variáveis de entrada: tosse, febre, cansaço, perda de olfato e paladar, dor de garganta, dor de cabeça, dor no peito, falta de ar. A saída é o tamanho do risco da pessoa estar contaminada. Foram feitas 820 regras para obter todos os possíveis resultados de combinações entre as entradas e as saídas esperadas e o método de inferência utilizado foi o de Sugeno.

O artigo de Artur et al. (2021) utiliza um SBRF para demonstrar a possibilidade de colapso do sistema de saúde devido à pandemia de COVID-19. O número de pessoas infectadas e o número de camas e equipamentos disponíveis são utilizados como variáveis de entrada para um SBRF, com nove regras e que utiliza o método de Mamdani, com o objetivo de obter o risco de colapso do sistema de saúde. Os resultados mostraram que quanto maior o número de infectados, maior o risco do sistema de saúde colapsar. Já o artigo de Dhiman e Sharma (2020) utiliza um SBRF para identificar e mostrar o grau de severidade do COVID-19 em um indivíduo (maiores detalhes serão apresentados posteriormente).

Neste trabalho, apresentaremos um modelo de evolução do COVID-19 no município de Rio Claro/SP utilizando um SBRF com duas variáveis de entrada: isolamento social e número de novos casos. A variável de saída será o percentual de aumento do número de casos (semanal).

## 2. Sistema baseado em regras fuzzy

Sistema baseado em regras fuzzy (SBRF) é um sistema que se utiliza da lógica fuzzy para produzir saídas para cada entrada fuzzy através de uma base de regras. É uma ferramenta poderosa que tem sido utilizada em diversas áreas do conhecimento. Nesta seção, apresentaremos algumas definições e exemplos sobre um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF), que também podem ser encontrados em Barros e Bassanezi (2010) e Wasques (2015).

No cotidiano, as ações humanas controlam os mais diversos sistemas do mundo real por meio de informações imprecisas. Cada indivíduo recebe informações que são interpretadas segundo seus parâmetros e então decide qual atitude tomar. O controle e a execução de tarefas devem seguir uma sequência de “ordens” linguísticas, traduzidas por um conjunto de regras, capazes de serem decodificadas pelo controlador.

Cada vez mais esse tipo de sistema tem sido utilizado, por exemplo, em diagnóstico médico, tendo em vista que alguns sintomas são característicos de vários tipos de doença, sendo que o que varia é a intensidade dos mesmos. Como exemplo, podemos citar febre e mialgia.

Observe o esquema a seguir que representa, de maneira simplificada, as ações de um especialista (médico - controlador humano) na execução da tarefa de fazer um diagnóstico.

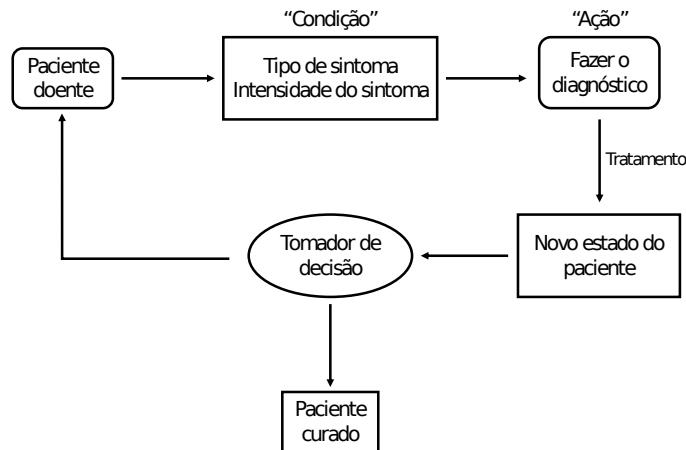


Figura 1: Esquema para um sistema de controle humano na tarefa de diagnosticar um paciente.

No esquema, podemos observar um possível caminho para a automação de tarefas. As ordens, chamadas de regras, poderiam ser, por exemplo, as seguintes:

$R_1$  : **Se** a temperatura é “baixa” e a mialgia é “baixa”, **então** é “gripe”.

$R_2$  : **Se** a temperatura é “alta” e a mialgia é “alta”, **então** é “COVID-19”.

Uma tentativa de reproduzir a estratégia de um controlador humano é dada pelos controladores fuzzy, considerado aqui como um caso típico de um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF), isto é, um sistema que se utiliza da lógica fuzzy para produzir saídas para cada entrada fuzzy.

Um controlador fuzzy é constituído de 4 etapas. São elas:

1. **Fuzzificação:** Etapa em que modelamos matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos fuzzy. Para cada variável de entrada, atribuímos um termo linguístico que representa o estado dessa variável e, para cada termo linguístico, deve ser associado um conjunto fuzzy por uma função de pertinência. Nessa etapa, é de grande importância a presença de um especialista do fenômeno a ser modelado.
2. **Base de regras:** Essa etapa é considerada como núcleo do sistema. Ela é composta pelas proposições fuzzy e cada uma delas é descrita na forma linguística

$$\begin{aligned} \text{Se} \quad & x_1 \text{ é } A_1 \text{ e } x_2 \text{ é } A_2 \text{ e } \dots \text{ e } x_n \text{ é } A_n \\ \text{então} \quad & u_1 \text{ é } B_1 \text{ e } u_2 \text{ é } B_2 \text{ e } \dots \text{ e } u_m \text{ é } B_m, \end{aligned}$$

de acordo com as informações de um especialista.

3. **Inferência fuzzy:** É nesta etapa onde se definem quais t-normas, t-conormas e regras de inferência serão usadas para estabelecer a relação fuzzy que modela a base de regras. Essa etapa é tão importante quanto a anterior. Basicamente é dele que depende o sucesso do controlador fuzzy, já que ele fornecerá a saída fuzzy a ser adotada pelo controlador a partir de cada entrada fuzzy. Destacamos o método de Mamdani, que será utilizado nas aplicações.

- *Método de Mamdani:* Mamdani propõe uma relação fuzzy binária  $M$  entre  $x$  e  $u$  para modelar matematicamente a base de regras.

As regras são modeladas utilizando a t-conorma  $\vee$  (máximo) para o conectivo “ou” e a t-norma  $\wedge$  (mínimo) para o conectivo “e”. Portanto, a relação fuzzy  $M$  é o subconjunto fuzzy  $X \times U$  cuja função de pertinência é dada por:

$$\varphi_M(x, u) = \max_{1 \leq j \leq r} (\varphi_{R_j}(x, u)) = \max_{1 \leq j \leq r} [\varphi_{A_j}(x) \wedge \varphi_{B_j}(u)],$$

em que  $r$  é o número de regras que compõem a base de regras,  $A_j$  e  $B_j$  são os subconjuntos fuzzy de regra  $j$  e cada um dos valores  $\varphi_{A_j}(x)$  e  $\varphi_{B_j}(u)$  são os graus de pertinência com que  $x$  e  $u$  pertencem aos conjuntos fuzzy  $A_j$  e  $B_j$ , respectivamente.

4. **Defuzzificação:** Na teoria dos conjuntos fuzzy, a fuzzificação é um processo que permite representar um conjunto fuzzy por um valor crisp, ou seja, um número real.

O método mais comum de defuzzificação é o centro de gravidade (centroide). Quando o domínio é discreto, o centro de gravidade  $G(B)$  é dado por:

$$G(B) = \frac{\sum_{i=0}^n u_i \varphi_B(u_i)}{\sum_{i=0}^n \varphi_B(u_i)}$$

em que  $\varphi_B(u_i)$  são os valores que indicam o grau de compatibilidade do valor  $u_i$  com o conceito modelado pelo conjunto fuzzy  $B$ .

Quando o domínio é contínuo,  $G(B)$  é dado por:

$$G(B) = \frac{\int_{\mathbb{R}} u \varphi_B(u) du}{\int_{\mathbb{R}} \varphi_B(u) du}.$$

Com isso, o esquema geral de um controlador fuzzy fica representado da seguinte maneira (Barros e Bassanezi (2010)):

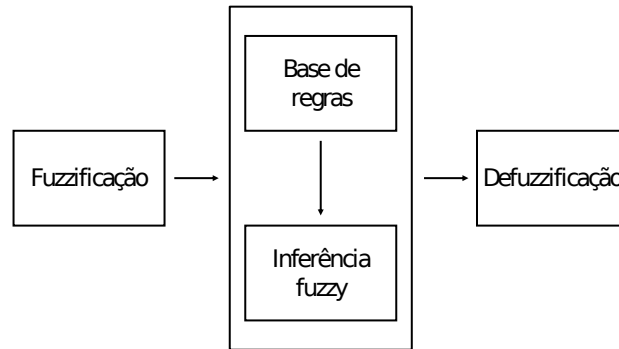


Figura 2: Esquema geral de um controlador fuzzy.

### 3. Modelo de evolução do COVID-19 em Rio Claro/SP

No início da pandemia de COVID-19, o artigo de Dhiman e Sharma (2020) apresenta um SBRF para identificação do COVID-19 e o grau de severidade da doença em um indivíduo. São utilizadas sete variáveis, sendo seis variáveis de entrada e uma de saída. São elas, respectivamente: temperatura ambiente, falta de ar, álcool em gel, temperatura corporal, resfriado, tosse e severidade. Conclui-se que o sistema proposto pode ser útil para dar um diagnóstico apropriado com relação à severidade do COVID-19 nos pacientes. Analisando o artigo e observando os dados da doença no município de Rio Claro, durante o desenvolvimento do projeto de iniciação científica, decidimos propor um SBRF para análise da evolução de COVID-19 que levasse em conta o isolamento social e o número de novos casos.

Rio Claro é um município no interior do estado de São Paulo com uma área territorial de 498,422 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 208.008 pessoas (dados do IBGE de 2020). Segundo a Imprensa de Rio Claro – SP (2021), no dia 25 de março de 2020, o município confirmou seu primeiro caso de coronavírus: um homem de 50 anos.

No início, os boletins com dados sobre a situação de COVID-19 no município dividiam as informações do número de casos em duas categorias: “positivos” e “positivos via teste rápido”, que poderiam ser confirmados ou não, como é mostrado na Figura 3. A partir da semana do dia 31 de maio de 2020,

a categoria “positivos via teste rápido” não foi mais destacada e os dados divulgados foram categorizados apenas como “positivos”; como mostra a Figura 4.



Figura 3: Boletim sobre a situação de COVID-19 do município de Rio Claro no dia 11/04/2020.



Figura 4: Boletim sobre a situação de COVID-19 do município de Rio Claro no dia 31/05/2020.

Assim, a modelagem proposta se inicia na semana do dia 31 de maio de 2020 e termina na semana do dia 21 de janeiro de 2021 com a chegada da vacina CoronaVac no município. A coleta dos dados foi feita diariamente no site do

Governo do Estado de São Paulo (2021) e no site da Imprensa de Rio Claro – SP (2021) e, ao final de cada semana, foram observados, mais especificamente, o isolamento social e o número total de casos. Tendo em vista que os dados disponíveis para o fim de semana às vezes eram subnotificados, optamos por elaborar a Tabela 3 cujas colunas representam o seguinte:

- Semanas: período em que os dados foram coletados.
- Média semanal do isolamento social: é a média dos dados diários coletados durante uma semana. Por exemplo, os dados da semana 1 são os seguintes (Tabela 1):

Tabela 1: Dados de isolamento social da semana 1.

Dias	isolamento social
31/05/2020	51%
01/06/2020	44%
02/06/2020	44%
03/06/2020	43%
04/06/2020	43%
05/06/2020	42%
06/06/2020	50%

Realizando a média desses dados, obtemos:

$$\frac{51\% + 44\% + 44\% + 43\% + 43\% + 42\% + 50\%}{7} = 45,28\% \cong 45\%$$

que é o dado inserido na média semanal do isolamento social na semana 1 da Tabela 3.

- Média semanal do número total de casos: é a média dos dados diários coletados durante uma semana. Por exemplo, os dados da semana 1 são os seguintes:



Tabela 2: Dados do número total de casos da semana 1.

Dias	número de casos
31/05/2020	107
01/06/2020	109
02/06/2020	121
03/06/2020	138
04/06/2020	154
05/06/2020	175
06/06/2020	180

Fazendo a média desses dados, obtemos:

$$\frac{107 + 109 + 121 + 138 + 154 + 175 + 180}{7} = 140,57$$

que é o dado inserido na média semanal do número total de casos na semana 1 da Tabela 3.

- Número de novos casos semanal: como a média semanal do número total de casos é acumulativa, teremos pessoas que não irão mais transmitir a doença ainda presentes nesse número. Assim, optamos por considerar o número de novos casos semanal, o qual sabemos que o indivíduo ainda está transmitindo o vírus e influencia na evolução da doença.

O primeiro dado do número de novos casos semanal na Tabela 3 é 140,57, o mesmo da média semanal do número de casos na semana 1. Isso acontece, pois os dados utilizados se iniciam na semana do dia 31 de maio de 2020. Essa coluna é construída da seguinte maneira: por exemplo, a variação da média do número de casos entre a semana 5 e a semana 6 foi de  $1429,71 - 934,71 = 495,00$ , ou seja, 495,00 é o número de novos casos da semana 6.

Tabela 3: Dados sobre a pandemia de COVID-19 no município de Rio Claro/SP.

Semanas	média semanal do isolamento social	média semanal do número total de casos	número de novos casos semanal
01 (31/mai/20 - 06/jun/20)	45%	140,57	140,57
02 (07/jun/20 - 13/jun/20)	45%	256,43	115,86
03 (14/jun/20 - 20/jun/20)	44%	457,14	200,71
04 (21/jun/20 - 27/jun/20)	45%	663,43	206,29
05 (28/jun/20 - 04/jul/20)	44%	934,71	271,29
06 (05/jul/20 - 11/jul/20)	44%	1429,71	495,00
07 (12/jul/20 - 18/jul/20)	44%	1810,14	380,43
08 (19/jul/20 - 25/jul/20)	42%	2294,14	484,00
09 (26/jul/20 - 01/ago/20)	41%	2699,14	405,00
10 (02/ago/20 - 08/ago/20)	41%	3040,57	341,43
11 (09/ago/20 - 15/ago/20)	40%	3289,43	248,86
12 (16/ago/20 - 22/ago/20)	41%	3508,86	219,43
13 (23/ago/20 - 29/ago/20)	40%	3768,43	259,57
14 (30/ago/20 - 05/set/20)	39%	4163,86	395,43
15 (06/set/20 - 12/set/20)	38%	4374,86	211,00
16 (13/set/20 - 19/set/20)	37%	4538,71	163,86
17 (20/set/20 - 26/set/20)	38%	4650,29	111,57
18 (27/set/20 - 03/out/20)	37%	4759,00	108,71
19 (04/out/20 - 10/out/20)	37%	4833,29	74,29
20 (11/out/20 - 17/out/20)	37%	4893,57	60,29
21 (18/out/20 - 24/out/20)	37%	4956,14	62,57
22 (25/out/20 - 31/out/20)	37%	5028,57	72,43
23 (01/nov/20 - 07/nov/20)	38%	5093,43	64,86
24 (08/nov/20 - 14/nov/20)	37%	5163,71	70,29
25 (15/nov/20 - 21/nov/20)	38%	5237,43	73,71
26 (22/nov/20 - 28/nov/20)	38%	5349,43	112,00
27 (29/nov/20 - 05/dez/20)	37%	5524,57	175,14
28 (06/dez/20 - 12/dez/20)	37%	5760,14	235,57
29 (13/dez/20 - 19/dez/20)	37%	6013,29	253,14
30 (20/dez/20 - 26/dez/20)	40%	6277,71	264,43
31 (27/dez/20 - 02/jan/21)	42%	6509,00	231,29
32 (03/jan/21 - 09/jan/21)	41%	6750,29	241,29
33 (10/jan/21 - 16/jan/21)	39%	7025,43	275,14
34 (17/jan/21 - 23/jan/21)	39%	7307,00	281,57

Apesar dos vários fatores que podem influenciar na evolução da doença, optamos, num primeiro momento, por considerar o isolamento social e o número de novos casos, pois isso também influencia na transmissibilidade da doença. O sistema fuzzy proposto tem por objetivo estimar um percentual do aumento do número de casos semanal. Assim, o modelo possui duas variáveis de entrada e uma de saída, respectivamente:

1. Média semanal do isolamento social (“IsolamentoSocial”): diariamente, no site do Governo do Estado de São Paulo é postado uma porcentagem de adesão da população ao isolamento social. Para alimentar o modelo, utilizamos a média semanal de isolamento social, ou seja, a coluna 2 da Tabela 3.
2. Número de novos casos semanal (“NumeroDeNovosCasos”): Para alimentar o sistema fuzzy, utilizamos apenas o primeiro dado inicial da coluna 4, ou seja, a condição inicial.
3. Aumento de casos (“AumentoDeCasos”): a saída é um percentual que representa o quanto deve aumentar o número de novos casos semanal, de acordo com a semana anterior.

Para cada variável, a partir dos dados observados, foram atribuídos termos linguísticos, cada um deles com funções de pertinência triangulares ou trapezoidais, que podemos visualizar nas figuras a seguir.

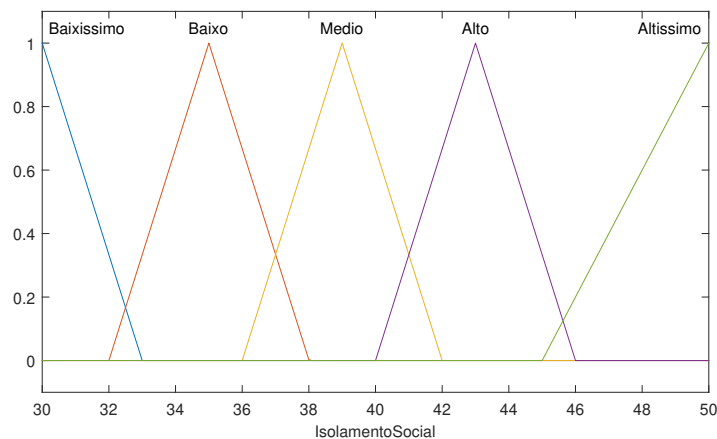


Figura 5: Isolamento social.

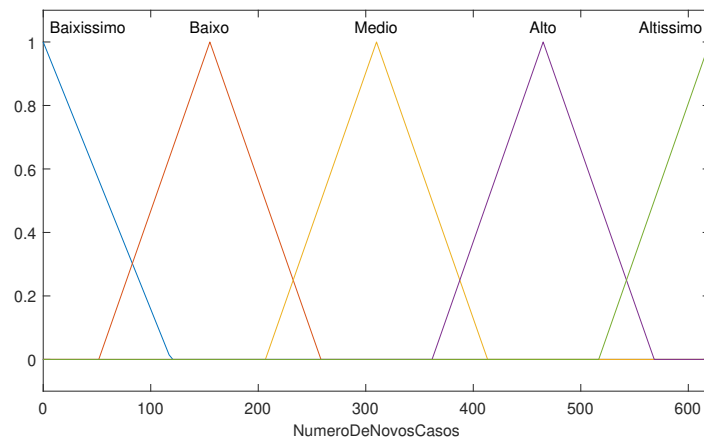


Figura 6: Número de novos casos.

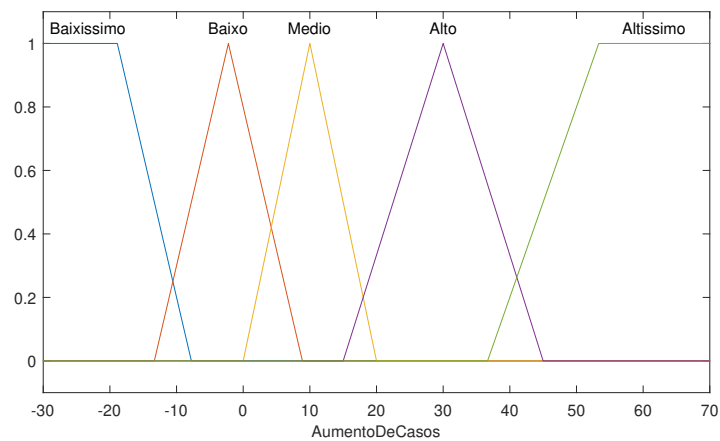


Figura 7: Aumento de casos.

Note que a função de saída “AumentoDeCasos” possui uma parte negativa que pode causar estranheza a princípio, porém, observe que nem sempre teremos um aumento no número de casos semanal. Por exemplo, na semana 18 da Tabela 3 a média do número de novos casos foi de 108,71 e na semana 19 foi de 74,29, ou seja, ocorreu uma diminuição na média do número de novos casos semanal.

A base de regras foi dividida em base de regras 1 e base de regras 2, por conta da diferença relativa existente entre nossos dados iniciais e os finais. Observe a seguir:

Tabela 4: Dados sobre o percentual semanal relativo.

Semanas	média semanal do número total de casos	número de novos casos semanal	percentual semanal relativo
01 (31/mai/20 - 06/jun/20)	140,57	140,57	-
02 (07/jun/20 - 13/jun/20)	256,43	115,86	82%
03 (14/jun/20 - 20/jun/20)	457,14	200,71	78%
04 (21/jun/20 - 27/jun/20)	663,43	206,29	45%
05 (28/jun/20 - 04/jul/20)	934,71	271,29	41%
06 (05/jul/20 - 11/jul/20)	1429,71	495,00	53%
07 (12/jul/20 - 18/jul/20)	1810,14	380,43	27%
08 (19/jul/20 - 25/jul/20)	2294,14	484,00	27%
09 (26/jul/20 - 01/ago/20)	2699,14	405,00	18%
10 (02/ago/20 - 08/ago/20)	3040,57	341,43	13%
11 (09/ago/20 - 15/ago/20)	3289,43	248,86	8%
12 (16/ago/20 - 22/ago/20)	3508,86	219,43	7%
13 (23/ago/20 - 29/ago/20)	3768,43	259,57	7%
14 (30/ago/20 - 05/set/20)	4163,86	395,43	10%
15 (06/set/20 - 12/set/20)	4374,86	211,00	5%
16 (13/set/20 - 19/set/20)	4538,71	163,86	4%
17 (20/set/20 - 26/set/20)	4650,29	111,57	2%
18 (27/set/20 - 03/out/20)	4759,00	108,71	2%
19 (04/out/20 - 10/out/20)	4833,29	74,29	2%
20 (11/out/20 - 17/out/20)	4893,57	60,29	1%
21 (18/out/20 - 24/out/20)	4956,14	62,57	1%
22 (25/out/20 - 31/out/20)	5028,57	72,43	1%
23 (01/nov/20 - 07/nov/20)	5093,43	64,86	1%
24 (08/nov/20 - 14/nov/20)	5163,71	70,29	1%
25 (15/nov/20 - 21/nov/20)	5237,43	73,71	1%
26 (22/nov/20 - 28/nov/20)	5349,43	112,00	2%
27 (29/nov/20 - 05/dez/20)	5524,57	175,14	3%
28 (06/dez/20 - 12/dez/20)	5760,14	235,57	4%

continua na próxima página...

Tabela 4: Dados sobre o percentual semanal relativo (continuação).

Semanas	média semanal do número total de casos	número de novos casos semanal	percentual semanal relativo
29 (13/dez/20 - 19/dez/20)	6013,29	253,14	4%
30 (20/dez/20 - 26/dez/20)	6277,71	264,43	4%
31 (27/dez/20 - 02/jan/21)	6509,00	231,29	4%
32 (03/jan/21 - 09/jan/21)	6750,29	241,29	4%
33 (10/jan/21 - 16/jan/21)	7025,43	275,14	4%
34 (17/jan/21 - 23/jan/21)	7307,00	281,57	4%

A quarta coluna da Tabela 4 foi construída pela divisão dos dados da coluna 3 sobre os dados da semana anterior da coluna 2. Por exemplo, na semana 6, o número de novos casos semanal foi de 495 e a média semanal do número total de casos da semana anterior (semana 5) foi de 934,71, assim:

$$\frac{495}{934,71} \cong 53\%,$$

que é o percentual de aumento semanal, relativo à semana 6.

Observe na Tabela 4 a grande diferença entre os percentuais iniciais e a quase estabilização nos dados finais da coluna 4. No início dos dados, a média semanal do número total de casos era baixa em comparação ao que viria a se tornar. Assim, o percentual semanal relativo se torna alto. No entanto, a média semanal do número total de casos é acumulativa e assim, o percentual semanal relativo diminui. Levamos essas observações em consideração para a construção da base de regras e a linha tracejada na Tabela 4 faz a separação da base de regras 1, em que o percentual semanal relativo é elevado e a base de regras 2, em que o percentual começa a se estabilizar abaixo de 5%.

Essa questão do aumento relativo está contemplada nas bases de regras, que são apresentadas nas tabelas a seguir:

Tabela 5: Base de regras 1 do modelo de evolução do COVID-19 em Rio Claro/SP.

Se	IsolamentoSocial e	NumeroDeNovosCasos	então	AumentoDeCasos
$R_1$	Medio	Baixo		Baixissimo
$R_2$	Medio	Medio		Baixissimo
$R_3$	Medio	Alto		Medio
$R_4$	Medio	Altissimo		Baixissimo
$R_5$	Alto	Baixissimo		Altissimo
$R_6$	Alto	Baixo		Alto
$R_7$	Alto	Medio		Medio
$R_8$	Alto	Alto		Baixissimo
$R_9$	Alto	Altissimo		Baixissimo
$R_{10}$	Altissimo	Medio		Baixissimo
$R_{11}$	Altissimo	Alto		Baixissimo
$R_{12}$	Altissimo	Altissimo		Baixissimo

Tabela 6: Base de regras 2 do modelo de evolução do COVID-19 em Rio Claro/SP.

Se	IsolamentoSocial e	NumeroDeNovosCasos	então	AumentoDeCasos
$R_1$	Baixissimo	Baixissimo		Altissimo
$R_2$	Baixo	Baixo		Medio
$R_3$	Baixo	Medio		Baixo
$R_4$	Medio	Baixissimo		Altissimo
$R_5$	Medio	Baixo		Baixissimo
$R_6$	Medio	Medio		Altissimo
$R_7$	Medio	Alto		Altissimo

Por fim, a arquitetura do modelo é a seguinte:

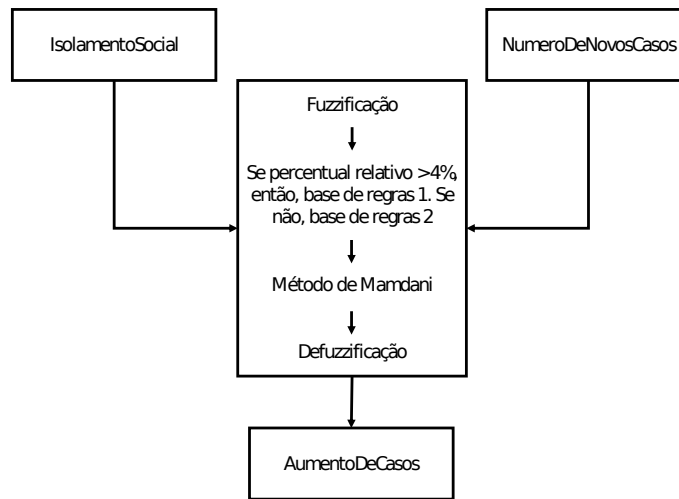


Figura 8: Arquitetura do modelo de evolução do COVID-19 em Rio Claro/SP.

Após a definição dos conjuntos fuzzy e das bases de regras, utilizamos o processo de Mamdani e a defuzzificação pelo centróide. Iterativamente, com o valor obtido a cada semana para o percentual de aumento do número de casos, obtemos uma previsão (fuzzy) para o número total de casos para as 34 semanas. Esse processo se inicia com um isolamento social de 45% e com um número de novos casos semanal de 140,57, como mostra a Tabela 2. Nesse caso, a saída “AumentoDeCasos” retornou o valor 30%, com esse valor, fazemos o seguinte cálculo:  $140,57 + (30\% \cdot 140,57) = 182,74$ . Esse é o novo valor do número de novos casos semanal fuzzy (confira na Tabela 7). Somamos esse valor na média semanal do número de casos fuzzy que, nesse exemplo, é 140,57. Obtemos então,  $140,57 + 182,74 = 323,31$  (confira na Tabela 7).

Esse processo se repete com as entradas “IsolamentoSocial” = 45% e “NumeroDeNovosCasos” = 182,74, até completarmos as 34 semanas.



Tabela 7: Dados sobre a pandemia de COVID-19 no município de Rio Claro/SP, obtidos pelo sistema fuzzy.

Semanas	média semanal do isolamento social	média semanal do númerototal de casos fuzzy	número de novos casos semanal fuzzy
01 (31/mai/20 - 06/jun/20)	45%	140,57	140,57
02 (07/jun/20 - 13/jun/20)	45%	323,31	182,74
03 (14/jun/20 - 20/jun/20)	44%	560,87	237,56
04 (21/jun/20 - 27/jun/20)	45%	847,03	286,15
05 (28/jun/20 - 04/jul/20)	44%	1161,79	314,77
06 (05/jul/20 - 11/jul/20)	44%	1508,03	346,24
07 (12/jul/20 - 18/jul/20)	44%	1888,90	380,87
08 (19/jul/20 - 25/jul/20)	42%	2259,02	370,12
09 (26/jul/20 - 01/ago/20)	41%	2642,71	383,69
10 (02/ago/20 - 08/ago/20)	41%	3001,32	358,61
11 (09/ago/20 - 15/ago/20)	40%	3335,80	334,48
12 (16/ago/20 - 22/ago/20)	41%	3600,49	264,69
13 (23/ago/20 - 29/ago/20)	40%	3847,37	246,88
14 (30/ago/20 - 05/set/20)	39%	4044,45	197,08
15 (06/set/20 - 12/set/20)	38%	4200,75	156,30
16 (13/set/20 - 19/set/20)	37%	4324,60	123,85
17 (20/set/20 - 26/set/20)	38%	4440,15	115,55
18 (27/set/20 - 03/out/20)	37%	4538,00	97,85
19 (04/out/20 - 10/out/20)	37%	4648,00	110,00
20 (11/out/20 - 17/out/20)	37%	4761,58	113,59
21 (18/out/20 - 24/out/20)	37%	4874,77	113,19
22 (25/out/20 - 31/out/20)	37%	4988,05	113,28
23 (01/nov/20 - 07/nov/20)	38%	5101,30	113,26
24 (08/nov/20 - 14/nov/20)	37%	5201,22	99,91
25 (15/nov/20 - 21/nov/20)	38%	5312,24	111,02
26 (22/nov/20 - 28/nov/20)	38%	5413,86	101,62
27 (29/nov/20 - 05/dez/20)	37%	5519,59	105,73
28 (06/dez/20 - 12/dez/20)	37%	5632,65	113,06
29 (13/dez/20 - 19/dez/20)	37%	5745,95	113,30

continua na próxima página...

Tabela 7: Dados sobre a pandemia de COVID-19 no município de Rio Claro/SP, obtidos pelo sistema fuzzy (continuação).

Semanas	média semanal do isolamento social	média semanal do número total de casos fuzzy	número de novos casos semanal fuzzy
30 (20/dez/20 - 26/dez/20)	40%	5859,21	113,25
31 (27/dez/20 - 02/jan/21)	42%	5949,02	89,81
32 (03/jan/21 - 09/jan/21)	41%	6076,02	127,00
33 (10/jan/21 - 16/jan/21)	39%	6212,21	136,19
34 (17/jan/21 - 23/jan/21)	39%	6319,50	107,30

Na Figura 9 observamos uma comparação entre o modelo fuzzy e os dados reais, utilizando os dados da coluna 3 da Tabela 7 (fuzzy) e os dados da coluna 3 da Tabela 3 (dados reais). Os dados reais são representados pela curva tracejada e o resultado obtido pelo SBRF ilustrado pela curva sólida.

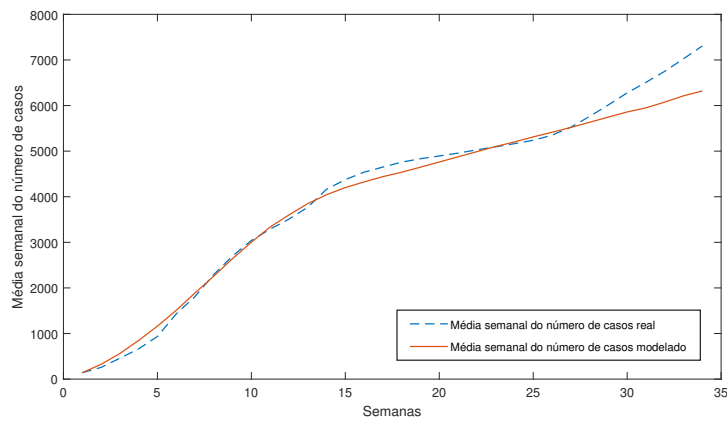


Figura 9: Comparação entre o modelo fuzzy e os dados reais.

## 4. Considerações Finais

No modelo proposto utilizamos somente duas variáveis de entrada e uma de saída, apesar de vários fatores influenciarem a propagação da COVID-19. Mesmo assim, a resposta do sistema baseado em regras fuzzy se assemelha

bastante aos dados reais. Apesar da simplicidade do modelo proposto, na Figura 9 podemos observar que as curvas estão muito próximas durante a maioria das semanas, ilustrando assim o potencial da modelagem fuzzy.

A partir da semana 27, o número de casos real começa a aumentar drasticamente, batendo recordes de aumento de casos semanais, da mesma forma que ocorreu em todo o estado de São Paulo. Assim, as curvas começam a se afastar. Certamente outras variáveis que modelam fatores que exercem grande influência no comportamento da pandemia precisam ser incorporadas ao modelo.

## Referências

- Artur, A. P. S., Abreu, B. M. P. N., Oliveira, L. J. P. L., Gontijo, K. S. J., Cardozo, T. T. M., e Laizo, W. S. (2021). Uso da lógica fuzzy para demonstrar a possibilidade de colapso do sistema de saúde devido à pandemia de coronavírus. *Brazilian Journal of Development*, páginas 1455–1466.
- Barros, L. C. e Bassanezi, R. C. (2010). *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. IMECC–Unicamp, Campinas/SP.
- Dhiman, N. e Sharma, M. K. (2020). Fuzzy logic inference system for identification and prevention of coronavirus (covid-19). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9:2278–3075.
- Governo do Estado de São Paulo (2021). Adesão ao Isolamento Social em SP. Disponível em <http://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/isolamento> Acesso em: 14/04/2021.
- Imprensa de Rio Claro – SP (2021). Notícias de Rio Claro. Disponível em <http://www.imprensa.rioclaro.sp.gov.br> Acesso em: 14/04/2021.
- Ministério da Saúde (2021). Coronavírus. Disponível em <http://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus> Acesso em: 14/04/2021.
- Sousa, R. N., Ximenes, J. N. S., e Brito, R. X. (2020). Sistema fuzzy como mecanismo auxiliador na predição da doença viral covid-19. *Anais da VIII Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí*, páginas 30–37.
- Wasques, V. F. (2015). Lógica fuzzy aplicada à geologia. Dissertação de Mestrado, IGCE–Unesp, Rio Claro/SP.

