

# Um modelo para determinar a fase da doença de Crohn via sistema fuzzy

André L. Silva,<sup>1</sup> Magda S. Peixoto,<sup>2</sup>

DFQM – Universidade Federal de São Carlos, 18.052-780, Sorocaba/SP.

**Resumo.** A exercício da medicina é um processo analítico e ininterrupto de tomadas de decisões no qual, frequentemente, as variáveis envolvidas são subjetivas, isto é, não mensuráveis. Dessa forma, a lógica fuzzy é um recurso muito participativo no processo decisório. Dentro deste cenário, este artigo sugere um modelo que mensura a atividade de uma doença intestinal inflamatória. A doença de Crohn, entre outros índices, possui um medidor de atividade conhecido como índice de Harvey-Bradshaw, para o qual será apresentado um modelo fuzzy que relaciona a acentuação dos sintomas com a fase da doença.

**Palavras-chave:** Doença intestinal; índice de Harvey-Bradshaw; conjuntos fuzzy.

## 1. Introdução

A proposta da teoria da incerteza veio em 1965, com o professor da Universidade da Califórnia, em Berkeley, Lofti A. Zadeh, que redirecionou o formato de se pensar a lógica. Zadeh propôs uma teoria, atualmente, conhecida como lógica fuzzy ou lógica difusa, a qual tem como principal recurso a manipulação de informações imprecisas. Esse método traduz variáveis linguísticas, abstratas e subjetivas para um modelo acessível a um computador. Consequentemente, possibilita mensuração da incerteza e a significação das imprecisões Klir e Yuan (1995).

A teoria dos conjuntos fuzzy veio para relativizar o tratamento da relação de pertinência em determinadas situações, a intensão é flexibilizar o modelo

---

<sup>1</sup>prof.dedeluigi@gmail.com

<sup>2</sup>magda@ufscar.br

clássico da relação de pertinência binária, dando origem ao conceito de grau de pertinência, em que a medida passa a ser um valor real de 0 a 1, inclusivamente. Desse modo, um elemento poderia pertencer parcialmente a um conjunto.

Pertinente a essa flexibilidade, foram promovidas incontáveis contribuições para o desenvolvimento de modelos na área de Engenharia, Química, Biologia, Medicina, Epidemiologia, Ecologia e etc.

Por exemplo, a Medicina é um campo repleto de incertezas. Desde as tentativas iniciais para o desenvolvimento de modelos matemáticos e computacionais notou-se um número significativo de imprecisões e ambiguidades. O diagnóstico de uma doença envolve um grau significativo de incerteza, uma única doença pode se manifestar de desiguais formas em pacientes distintos e diferentes estados da doença. Além disso, um único sintoma pode ser indicativo de várias doenças e um paciente acometido por múltiplas doenças pode causar uma divergência no padrão esperado do sintoma de qualquer uma delas. Consequentemente, gera uma enorme carga de incerteza e imprecisão na interpretação da medida dos efeitos e na análise Massad et al. (2008).

Diante desse amplo espaço de aplicação, esse artigo tem como objetivo apresentar um modelo que mensura a atividade de uma doença intestinal inflamatória por meio de um sistema baseado em regras fuzzy.

Para esse processo foi escolhida a doença de Crohn (DC). A DC é uma doença crônica de causa desconhecida e não é curável. Logo, o paciente portador da enfermidade de Crohn passa por períodos de remissão ou acentuação da doença. A medida dessas fases é dada, entre outros índices, pelo índice de Harvey-Bradshaw (IHB), que é embasado por um questionário composto por algumas questões subjetivas.

Diante desse quadro surgiu a motivação para produzir uma dissertação Silva (2020) de mestrado e apresentar nesse artigo um modelo fuzzy baseado no IHB.

## 2. Sistema baseado em regras fuzzy

As principais referências adotadas nesta seção são: Barros e Bassanezi (2015); Belluci (2009); Marins (2016) e Ortega (2001).

Um sistema baseado em regras fuzzy é composto por quatro etapas (Figura 2):

- (i) Módulo de fuzzificação;

- (ii) Base de regras;
- (iii) Módulo de inferência fuzzy;
- (iv) Módulo de defuzzificação.

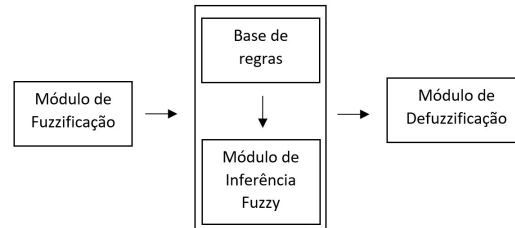


Figura 1: Esquema geral de um controlador fuzzy (Barros e Bassanezi, 2015).

Vamos descrever brevemente cada etapa:

- (i) Módulo de fuzzificação:

Nesse estágio são traduzidas as variáveis, em seus respectivos domínios, do sistema em conjuntos fuzzy. É nessa etapa a atuação de um especialista na área do fenômeno, de fundamental importância para a formulação de cada conjunto fuzzy envolvido no processo.

- (ii) Base de regras:

Esta etapa é a parametrização da essência do controlador fuzzy. Ela é composto por proposições fuzzy da forma:

**Se**  $x_1 \text{ é } A_1$  **e**  $x_2 \text{ é } A_2$  ... **e**  $x_n \text{ é } A_n$

**então**  $u_1 \text{ é } B_1$  **e**  $u_2 \text{ é } B_2$  ... **e**  $u_n \text{ é } B_n$

de acordo com o conhecimento de um especialista da área de estudo, por exemplo, um médico. A base de regras descreve as relações entre as variáveis linguísticas, para serem utilizadas no Módulo de inferência fuzzy.

- (iii) Módulo de inferência fuzzy:

É neste componente que cada proposição fuzzy é traduzida matematicamente por intermédio das técnicas da lógica fuzzy. Os operadores t-norma, t-conorma e regras de inferência serão aplicados para obtenção da relação fuzzy que modela a base de regras.

Aqui vamos utilizar o Método de Inferência de Mandani.

Do ponto de vista técnico, Mamdani propõe uma relação fuzzy binária  $\mathcal{M}$  entre  $x$  e  $u$  para a modelação da base de regras.

Esse método é baseado na regra de composição de inferência max-mim, que consiste no seguinte procedimento:

- cada regra  $R_j$  é modelada pela aplicação  $\wedge$  a partir da condicional “se  $x$  é  $A_j$ , então  $u$  é  $B_j$ ”.
- para as relações “se  $x_1$  é  $A_{1j}$  e se  $x_2$  é  $A_{2j}$ , então  $u$  é  $B_j$ ” utilizamos t-norma  $\wedge$  (mínimo).
- para as relações “se  $x_1$  é  $A_{1j}$  ou se  $x_2$  é  $A_{2j}$ , então  $u$  é  $B_j$ ” utilizamos t-conorma  $\vee$  (máximo).

Rigorosamente,  $\mathcal{M} \subset (X \times U)$  cuja função de pertinência é dada por:

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

tal que,  $r$  é o “número de regras” que compõem a base de regras, em que  $A_j$  e  $B_j$  são os subconjuntos fuzzy de regra  $j$ .

Note que os graus de pertinência de  $x$  e  $u$  nos subconjuntos  $A_j$  e  $B_j$ , respectivamente

(iv) Módulo de defuzzificação.

Defuzzificação é o método utilizado para se obter um valor crisp a partir de um conjunto fuzzy.

Utilizaremos o método *centro de gravidade*.

Também conhecido como *centroide* ou *centro de área*, e denotado por  $G(B)$ , esse método é semelhante à média aritmética para uma distribuição de frequência de uma dada variável, de modo que os pesos passam a ser os valores  $\varphi_B(u_i)$ , que indicam o grau de conformidade do valor  $u_i$  com o conceito modelado pelo conjunto fuzzy  $B$ .

O centro de gravidade  $G(B)$  é dada pelas equações de acordo com o tipo de seu domínio:

(a) Domínio discreto:

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

(b) Domínio contínuo:

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

### 3. Uma aplicação à doença de Crohn

O modelo proposto será baseado no Índice de Harvey-Bradshaw (IHB) para determinação da fase da doença inflamatória intestinal, a doença de Crohn (DC), em um paciente acometido pela mesma.

O índice que auxilia a diferenciação dos estados ativo ou de remissão da doença é o Índice de Harvey-Bradshaw, que é determinado por um questionário apresentado com perguntas subjetivas, detalhado na Figura 3.

De acordo com o valor obtido pelo IHB o paciente pode ser classificado em pacientes com IHB igual ou inferior a 4, sem sintomas e sem uso de corticosteroide são considerados em remissão, pacientes com IHB igual a 5, 6 ou 7 são classificados de leve a moderado, pacientes com IHB igual ou superior a 8 são considerados moderado a grave ou pacientes com IHB bem superior a 8 são considerados grave fulminante.

Variável	Descrição	Escore
1	Bem-estar geral	0 = muito bem 1 = levemente comprometido 2 = ruim 3 = muito ruim 4 = péssimo
2	Dor abdominal	0 = nenhuma 1 = leve 2 = moderada 3 = intensa
3	Número de evacuações líquidas por dia	1 por cada evacuação diária
4	Massa abdominal	0 = ausente 1 = duvidosa 2 = definida 3 = definida e dolorosa
5	Complicações	1 por item Artralgia, Uveíte, Eritema nodoso, Úlceras aftosas, Pioderma, gangrenoso, Fissura anal, Nova fistula, Abscesso
	Total	Somas dos escores das variáveis de 1 a 5

Figura 2: Questionário IHB.

Com base no artigo Brasil (2014) e em alguns resultados obtidos na dissertação de mestrado Moreira (2009), decidimos proceder no processo de fuzzificação das cinco variáveis de entrada com as seguintes caracterizações: a variável de entrada *sensação de bem-estar* será modelada em dois subconjuntos fuzzy, opostos simétricos, um deles representando o estado *muito bem* do paciente e outro representando o estado *péssimo*. Optamos por modelos trapezoidais e triangulares, ver Figura 3.

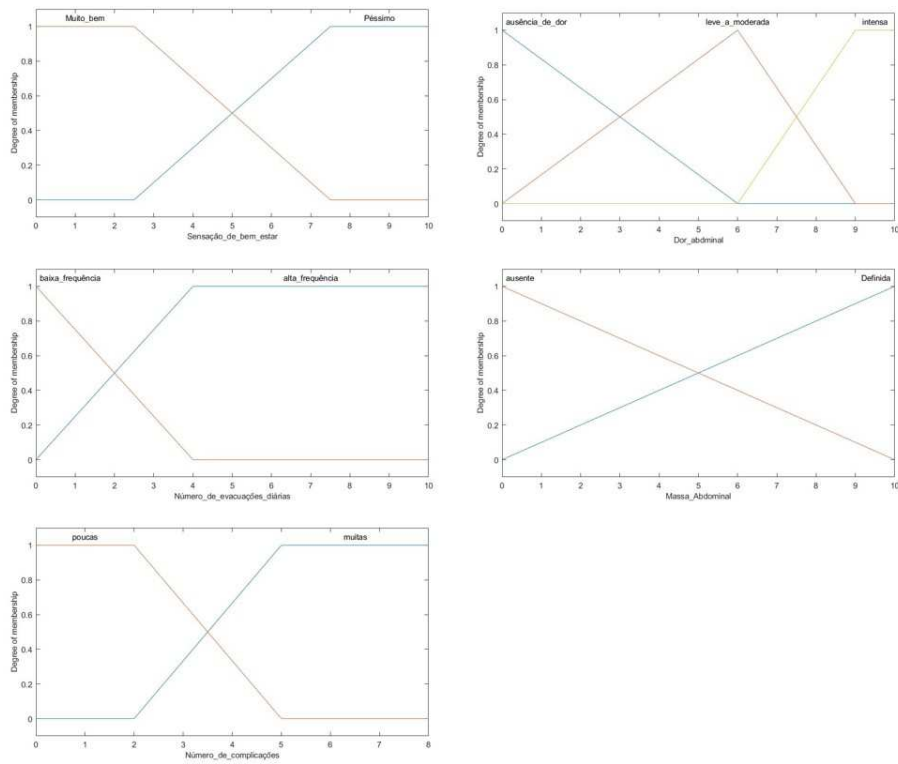


Figura 3: Funções de pertinência das variáveis de entrada

Uma vez terminado o processo de fuzzificação das entradas vamos repetir o processo para a variável de saída. Com base nas saídas do índice de Harvey-Bradshaw, temos a variável *fase da DC*, que é composta por subconjuntos com funções de pertinência trapezoidais e triangulares. O subconjunto trapezoidal *remissão*, o subconjunto triangular *leve*, o subconjunto triangular *moderado* e o subconjunto *grave* conforme Figura 3.

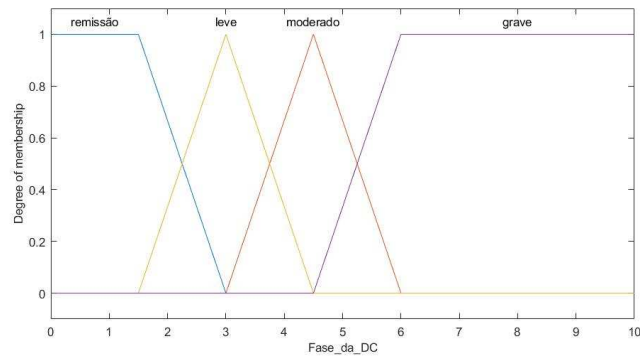


Figura 4: Função de pertinência *Fase da DC*

Definidas as variáveis de entrada e saída, vamos propor uma base de regras.

Nossa base de regras é composta por 48 regras, seguem algumas:

Regra 1: *SE* (*bem estar geral é muito bem*) e (*dor abdominal é ausência de dor*) e (*número de evacuações é baixa frequência*) e (*massa abdominal é ausente*) e (*número de complicações são poucas*), *ENTÃO* (*fase da DC é remissão*).

Regra 26: *SE* (*bem estar geral é péssimo*) e (*dor abdominal é ausência de dor*) e (*número de evacuações é baixa frequência*) e (*massa abdominal é ausente*) e (*número de complicações são muitas*), *ENTÃO* (*fase da DC é moderado*).

O método de inferência utilizado é o **método de inferência de Mandani** e o processo de defuzzificação **centro de gravidade**.

Segue um esquema que resume este modelo na Figura 3.



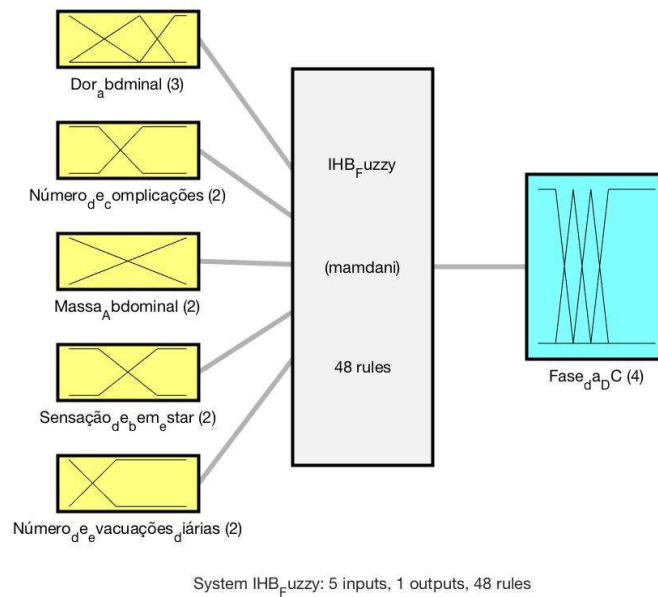


Figura 5: Esquema do resumo do modelo

As simulações e o modelo matemático foram feitos no software **MatLab** utilizando a ferramenta **Toolbox Fuzzy**.

O modelo relativo a esse trabalho composto por um questionário com cinco perguntas:

Baseado no índice IHS para mensuração da atividade da Doença de Crohn, algumas informações serão necessárias para que a avaliação seja feita.

(1) Bem estar geral

Avalie sua sensação de bem estar de 0 (para muito bem) até 10 (para péssimo) Insira o valor.

(2) Dor abdominal

Avalie sua sensação de dor abdominal de 0 (para nenhuma) até 10 (para acentuada) Insira o valor.

- (3) Número de evacuações líquidas por dia Digite o número média de evacuações diárias nos últimos 7 dias Insira o valor.
- (4) Massa abdominal Avalie se há crescimento de alguma massa abdominal anormal de 0 (para ausente) até 10 (definida) Insira o valor.
- (5) Complicações Houve algum tipo de complicações entre: Artralgia, uveíte, eritema nodoso, úlcera oftosas, pioderma gangrenoso, fissura anal, nova fístula ou abscesso. Se teve algumas dessas complicações, digite a quantidade:

#### 4. Simulação de resultados

Em Moreira (2009) encontramos 16 casos de pacientes avaliados pelo IHB, amparado por esses resultados, faremos algumas simulações e comparações. Apresentaremos aqui dois casos.

**CASO 1:** ver Tabela 1:

Tabela 1: Paciente C.F.S

Variável	Descrição	Escore
1	Bem-estar geral	3 = muito ruim
2	Dor abdominal	2 = moderada
3	Número de evacuações diárias	2 vezes por dia
4	Massa abdominal	1 = duvidosa
5	Complicações	2 - Eritema nodoso e nova fístula
	Total	10 = Grave

Aplicação no modelo Fuzzy proposto:

(1) Bem estar geral

Avalie sua sensação de bem estar de 0 (para muito bem) até 10 (para péssimo) Insira o valor:8

(2) Dor abdominal

Avalie sua sensação de dor abdominal de 0 (para nenhuma) até 10 (para acentuada)

Insira o valor:7

**(3)** Número de evacuações líquidas por dia

Digite o número média de evacuações diárias nos últimos 7 dias

Insira o valor:2

**(4)** Massa abdominal

Avalie se há crescimento de alguma massa abdominal anormal de 0 (para ausente) até 10 (definida)

Insira o valor:3

**(5)** Complicações

Houve algum tipo de complicações entre: Artralgia, Uveíte, Eritema nodoso, Úlcera oftosas, Pioderma gangrenoso, Fissura anal, Nova fistula ou Abscesso. Se teve algumas dessas complicações, digite a quantidade:

Insira o valor:2

Saída numérica: 5.5479

Resultado modelo fuzzy:

Moderado com grau de pertinência: 0.3014

Grave com grau de pertinência: 0.6986

Resultado (IHB): Grave.

**CASO 2:** ver Tabela 2:

Tabela 2: Paciente A.M.F.

Variável	Descrição	Escore
1	Bem-estar geral	2 = ruim
2	Dor abdominal	1 =leve
3	Número de evacuações diárias	2 vezes por dia
4	Massa abdominal	0 = ausente
5	Complicações	1 - Artralgia
	Total	6 = leve

Aplicação no modelo Fuzzy proposto:

Mensuração da atividade da Doença de Crohn Algumas informaçãoe serão necessárias para aque a avaliação seja feita.

**(1)** Bem estar geral

Avalie sua sensação de bem estar de 0 (para muito bem) até 10 (para péssimo) Insira o valor:4

(2) Dor abdominal

Avalie sua sensação de dor abdominal de 0 (para nenhuma) até 10 (para acentuada)

Insira o valor:4

(3) Número de evacuações líquidas por dia

Digite o número média de evacuações diárias nos últimos 7 dias

Insira o valor:2

(4) Massa abdominal

Avalie se há crescimento de alguma massa abdominal anormal de 0 (para ausente) até 10 (definida)

Insira o valor:0

(5) Complicações

Houve algum tipo de complicações entre: artralgia, uveíte, eritema nodoso, úlcera oftosas, pioderma gangrenoso, fissura anal, nova fístula ou abscesso. Se teve algumas dessas complicações, digite a quantidade:

Insira o valor:1

Saída numérica: 2.5710

Resultado modelo fuzzy:

Remissão com grau de pertinência 0.2860

Leve com grau de pertinência 0.7140

Resultado (IHB): Leve.

## 5. Resultados e conclusões

Considerando o índice de Harvey-Bradshaw (IHB), foram traduzidas para um modelo fuzzy as cinco questões apresentadas no questionário IHB, nas quais foram medidas o *bem estar-geral*, *dor abdominal*, *número de evacuações líquidas diárias*, *massa abdominal* e *número de complicações*.

O modelo foi testado com a utilização de 16 casos encontrados em Moreira (2009), tendo como aproveitamento 87,5%, a simulação dos casos e a comparação com os resultados reais encontram-se na dissertação de mestrado Silva (2020).

Com esses resultados, concluímos que o modelo obteve um resultado verossímil em relação aos resultados encontrados, mas o modelo pode ser apri-

morado e servir como ferramenta para auxiliar os profissionais da saúde, com o objetivo de dar uma direção e diminuir as dúvidas perante a medição das fases da DC.

## Agradecimentos

A segunda autora agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), projeto número 2016/04299-9, pelo apoio financeiro.

## Referências

- Barros, L. C. e Bassanezi, R. C. (2015). *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. IMECC–Unicamp, Campinas/SP.
- Belluci, D. P. (2009). Sistemas baseados em regras fuzzy e aplicações. Dissertação de Mestrado, UFABC, Santo André/SP.
- Brasil, M. S. (2014). Protocolo clínico e diretrizes terapêuticas: Doença de crohn. *Diário Oficial da União*, 191, DF, Seção 1, p. 44.
- Klir, G. J. e Yuan, N. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and Applications*. Prentice Hall PTR.
- Marins, L. R. (2016). Diagnóstico médico por meio de relações fuzzy: dengue, chikungunya ou zica. Dissertação de Mestrado, DFQM–UFSCar, Sorocaba/SP.
- Massad, E., Ortega, N. R. S., Barros, L. C., e Struchiner, C. J. (2008). *Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond*. Springer.
- Moreira, A. P. P. (2009). Estudo comparativo das expressões de TNF-alfa, ILI-beta e IL-8 na mucosa ileal de portadores de doença de Crohn em uso de mesalazina ou azatioprina. Dissertação de Mestrado, FCM–Unicamp, Campinas/SP.
- Ortega, N. R. S. (2001). *Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina*. Tese de Doutorado, Instituto de Física–USP, São Paulo/SP.
- Silva, A. L. (2020). Um estudo sobre sistemas baseados em regras fuzzy. Dissertação de Mestrado, DFQM–UFSCar, Sorocaba/SP.

