

Aplicação da Lógica Fuzzy como apoio de decisão para a avaliação da qualidade da cerveja Pilsen

Application of Fuzzy Logic as a decision support for the quality of Pilsen Beer

Keivy Evilázio Gomes¹, Fábio Márcio Assumpção Caillaux Filho¹, Ludmila Nascimento¹,
Alessandra Costa Vilaça¹, Juan Canellas Bosch Neto¹ e Edson Romano Nucci^{1*}

RESUMO

O setor cervejeiro, devido ao aumento da atividade produtiva e ao gosto mais exigente do consumidor, tem buscado melhorar a qualidade da cerveja produzida, tendo inclusive utilizado metodologias de inteligência artificial para lidar com a incerteza, a subjetividade e a complexidade associada a esse tipo de problema de Processo. O sistema Fuzzy é uma dessas metodologias que, além da generalidade e do poder expressivo, atuam no sentido de contornar a imprecisão implícita em problemas de tomada de decisão. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de apoio de decisão, por meio de um sistema Fuzzy, para avaliar a qualidade da cerveja tipo Pilsen. Os softwares utilizados no desenvolvimento do sistema foram o SCILAB® e INFUZZY e como variáveis de entrada para o sistema de apoio de decisão foram CO₂, Cor, Densidade, pH e o Teor Alcoólico; e a variável de resposta foi a qualidade da cerveja Pilsen. O sistema desenvolvido teve uma taxa de acerto acima de 90% referente a qualidade da cerveja considerada aprovada, além de ser possível, pelas superfícies de respostas, identificar as melhores regiões quando se tem o produto considerado aprovado, aprovado com alteração ou reprovado.

Palavras-chave: Bioprocessos; Fermentação; Sistemas inteligentes.

ABSTRACT

The brewing sector, due to the increase in production activity and the more demanding taste of the consumer, has sought to improve the quality of the beer produced, using, including, artificial intelligence methodologies to deal with the uncertainty, subjectivity and complexity associated with this type of Process problem. The Fuzzy system is one of those methodologies that, in addition to generality and expressive power, act to circumvent the imprecision implicit in decision-making problems. Thus, this work aimed to develop a decision support system through a Fuzzy system to evaluate the quality of Pilsen beer. The software used in the development of the system were SCILAB® and INFUZZY and as input variables for the decision support system were CO₂, Color, Density, pH, and Alcohol Content; and the response variable was beer quality. The developed system had an accuracy rate above 90% regarding the quality of the beer considered approved, in addition to being possible by the response surfaces, to identify the best regions when the product is considered approved, approved with alteration, or disapproved.

Keywords: Bioprocess; Fermentation; Intelligent system.

¹ Universidade Federal de São João Del

*E-mail: nucci@ufsj.edu.br

INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida originada pelo processo de fermentação, após o cozimento do mosto de cevada ou extrato de malte, com adição de lúpulo. Estudos indicam que sua produção teve início por volta do século VIII a.C. se desenvolvendo paralelamente com o cultivo de milho, centeio e cevada pelos povos da Suméria, Babilônia e Egito. Contudo, o lúpulo só foi adicionado na idade média por volta dos anos XIII, e este ingrediente tem a propriedade de ser antisséptico, concebendo maior durabilidade e sabor para a bebida (MEGA *et al.*, 2011). As cervejas, de acordo com a legislação brasileira, apresentam 5 parâmetros importantes: teor alcoólico, cor, teor de extrato final, extrato primitivo e fermentação; esta última divide a cerveja em dois grandes grupos: as *Ales*, de alta fermentação e as do tipo *Lager*, de baixa fermentação. Dentre estes estilos, a cerveja mais popular é a cerveja Pilsen que é uma *Lager* e considerada uma das mais consumida em todo mundo (ROSA e AFONSO, 2015; BORTOLI *et al.*, 2013).

Este fato se dá pela Pilsen, de acordo com a *Beer Judge Certification Program* (BJCP), ter a característica de conter um corpo leve, altamente atenuado, de cor dourada e de baixa fermentação. Mostrando excelente retenção de espuma e um elegante aroma de lúpulo floral. Sendo uma cerveja fresca, limpa e refrescante. Justamente por estas características de simplicidade, sabor e grande mercado que a pilsen foi a cerveja escolhida para o presente trabalho.

Na última década, houve um grande crescimento na utilização e desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial, principalmente em áreas que possuem alto grau de incerteza, subjetividade e complexidade como muitos problemas da engenharia. A lógica Fuzzy ou também denominada de lógica Nebulosa, é uma área de desenvolvimento da inteligência artificial, proposta por Zadeh em 1965. Esta lógica permite traduzir expressões verbais vagas e imprecisas em valores numéricos permitindo a modelagem do raciocínio humano de forma simples e estruturada. O que é uma vantagem quando comparada com a lógica clássica, em que valores só podem conter unicamente ao conjunto verdadeiro ou ao conjunto falso sendo uma lógica bivalente. Sendo assim, a lógica nebulosa é multivalente e capaz de reconhecer diversos valores, criando um grau de certeza no intervalo de $[0,1]$ (LUCAS, 2022; PRADO *et al.*, 2017; REZENDE, 2005).

Outro conceito importante dentro da teoria da lógica nebulosa são as variáveis linguísticas. Enquanto na matemática clássica são utilizadas variáveis numéricas, a lógica

nebulosa utiliza-se de variáveis linguísticas (variáveis cujos valores não são números, mas palavras ou expressões), por exemplo: temperatura, pressão, vazão etc. Isto decorre da facilidade da utilização destes termos para expressão e processamento no formato de regras (NELLES, 2001; ZADEH, 1975).

É possível encontrar na literatura trabalhos com aplicações da lógica Fuzzy nas mais diversas áreas. Nucci e colaboradores (2005) desenvolveram um algoritmo baseado na lógica nebulosa para determinação do momento de máxima concentração de enzimas durante um cultivo de *Bacillus megaterium* em um biorreator tipo tanque agitado, baseado no trabalho de Souza Jr e Almeida (2001), para identificar o momento em que ocorre esse pico (reduzindo os custos do processo e evitando a degradação do produto).

Neto e colaboradores (2022) utilizaram a lógica Fuzzy para realizar simulações de parâmetros de um Reator Nuclear. Por meio da lógica Fuzzy foi possível realizar uma estimativa numérica em relação aos percentuais de nêutrons no reator. Com essa análise, obteve-se um valor de aproximadamente 60% de nêutrons que devem ser emitidos pela fonte primária no Reator e 41% de nêutrons que devem ser absorvidos pelos moderadores para manter a segurança desse Reator.

Deste modo, o objetivo do trabalho foi propor um sistema de apoio de decisão utilizando a lógica Fuzzy para a avaliação da qualidade final de uma cerveja Pilsen.

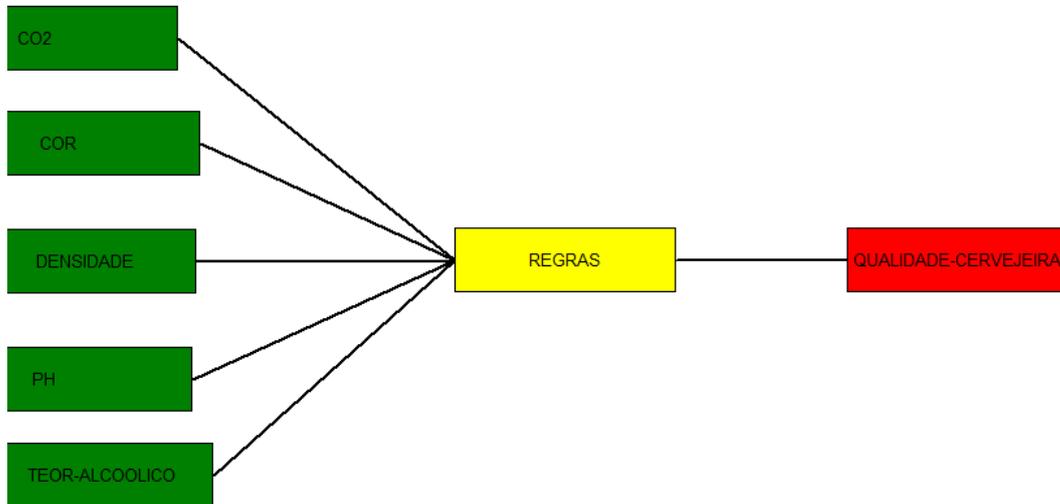
METODOLOGIA

A simulação do processo para o apoio de decisão referente a qualidade da cerveja foi realizada nos Softwares livres INFUZZY (POSSELT *et al.*, 2015) e Scilab® e por meio de estudos da literatura, foi possível identificar as variáveis a serem estudadas como variáveis de entrada. Foram utilizadas cinco variáveis que são fortes indicadores da qualidade final da cerveja (CO₂, Densidade, pH, Cor e Teor Alcoólico) e como variável de saída, foi definida como a Qualidade da cerveja, como ilustrado na Figura 1.

Dispondo de todos estes valores, foi possível realizar a construção gráfica das funções de pertinência, para cada variáveis em estudo, ilustrada nas Figuras 2 a 7. A partir de trabalhos encontrados na literatura (HOFFMAN *et al.* 2016, NASCIMENTO, 2018) foi identificado que a melhor região de trabalho é quando o CO₂ está entre 0,55 e 0,60 mg.L⁻¹. Entretanto valores menores que 0,55 mg.L⁻¹ a cerveja sofre redução na produção de espuma e baixo teor de carbonatação e valores de CO₂ acima de 0,60 mg.L⁻¹ há risco de que a tampa da garrafa estoure. A Figura 2 ilustra a função de pertinência referente a

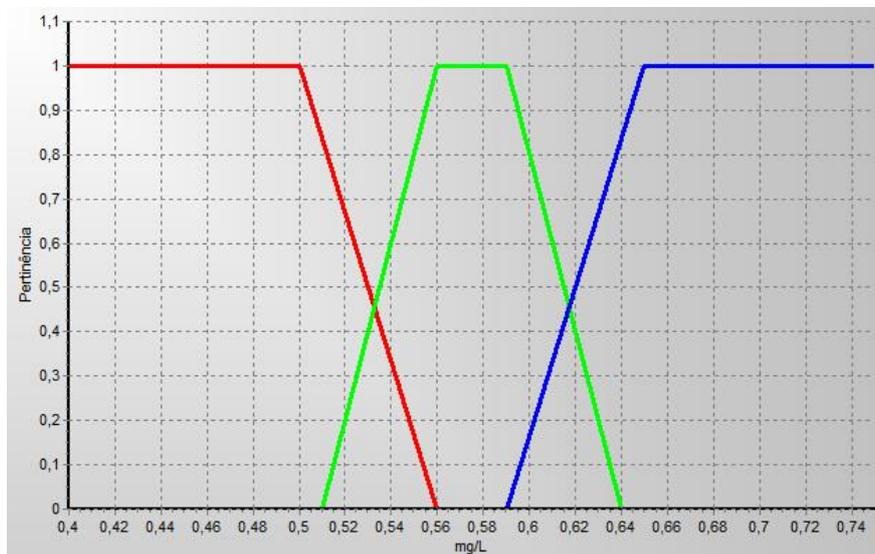
construção quando se considerou a variável CO₂.

Figura 1 – Representação esquemática da conexão entre as variáveis de entrada, os blocos de regras e as variáveis de saída para o primeiro conjunto de simulações no software INFUZZY.



Fonte: Próprio autor, 2022.

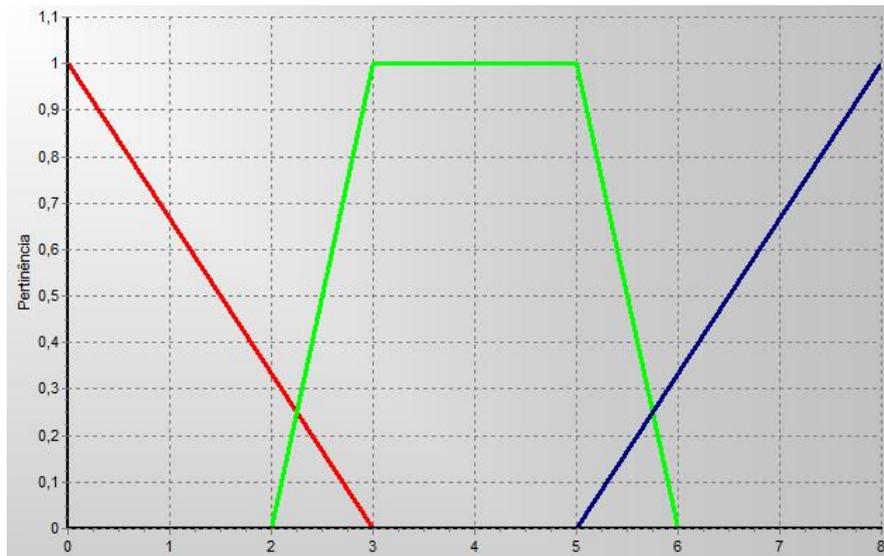
Figura 2 – Representação gráfica da variável linguística CO₂ e suas funções de pertinência. (-) baixo; (-) ideal; (-) alto.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Para a variável Cor (Figura 3), de acordo com o decreto nº 6,841 de 4 de junho de 2009, e a instrução normativa nº 54, de 5 de novembro de 2001, a cerveja pilsen apresenta coloração clara especificamente a faixa ideal esperada da cor para este estilo medido em SRM de acordo com o BJCP é entre 2 e 5 sendo uma pequena variação aceitável.

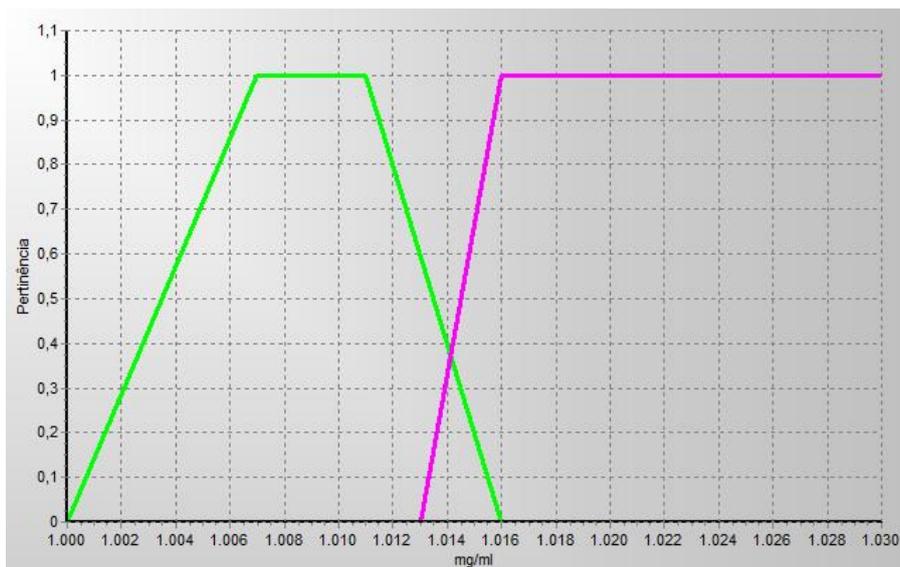
Figura 3 – Representação gráfica da variável linguística cor e suas funções de pertinência. (-) Palha; (-) Amarelo ou Ouro; (-) Âmbar.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Segundo a BJCP, para a variável Densidade, o ideal para a qualidade da cerveja deve estar entre 1,008 e 1,013. Valores maiores que 1,013 a cerveja apresenta uma característica pesada, viscosa, indesejada para uma cerveja do tipo Pilsen que deve ter um corpo leve (Figura 4).

Figura 4 – Representação gráfica da variável linguística densidade e suas funções de pertinência, (-) Ideal; (-) Alta.

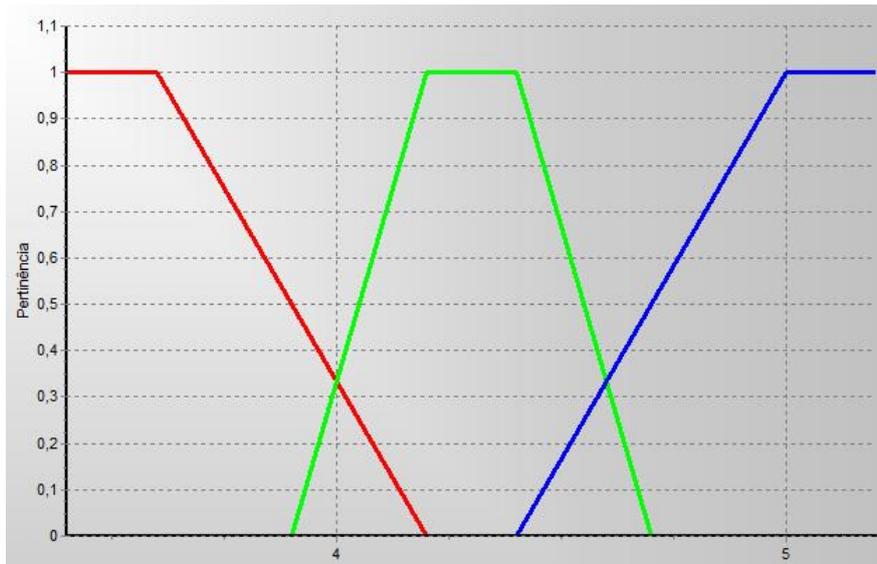


Fonte: Próprio autor, 2022.

Para a variável pH (Figura 5), segundo as especificações, o intervalo aceitável é

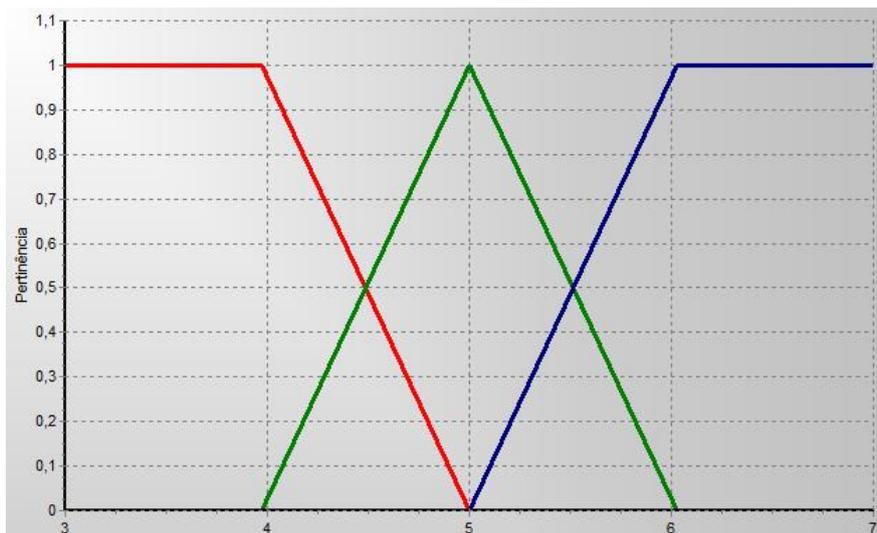
de 4 a 4,6, sendo os valores entre 4,2 e 4,4 os melhores (HOFFMAN *et al.*, 2017). Finalmente, para o teor alcoólico (Figura 6) o valor ideal é entre 5%, mas a legislação permite uma variação aceitável entre 4,5 e 5,5%. Valores maiores ou menores que o descrito, a qualidade da cerveja está reprovada (HOFFMAN *et al.*, 2017).

Figura 5 – Representação gráfica da variável linguística pH e suas funções de pertinência. (-) baixo; (-) ideal; (-) alto.



Fonte: Próprio autor, 2022.

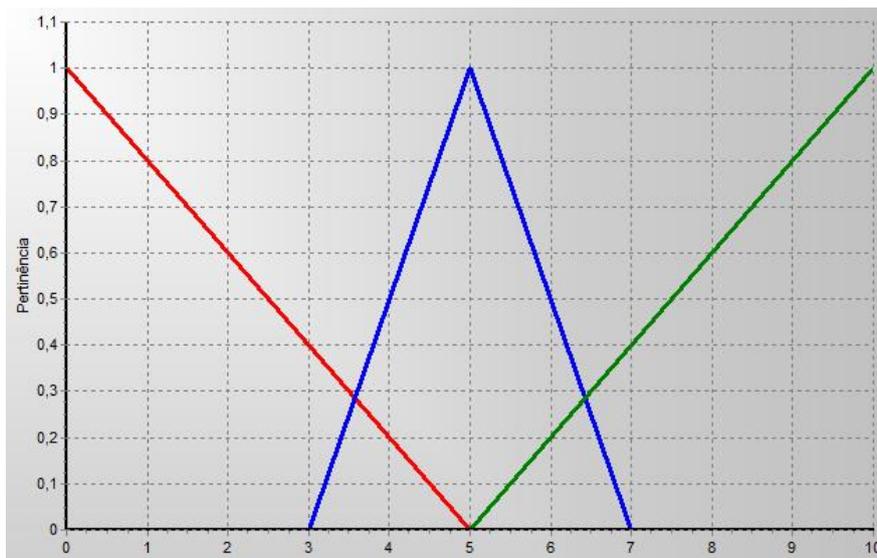
Figura 6 – Representação gráfica da variável linguística teor alcoólico e suas funções de pertinência. (-) baixo; (-) ideal; (-) alto.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Para o sistema de apoio de decisão, quando a qualidade da cerveja (Figura 7) recebe um valor de resposta menor que 3, esta é considerada reprovada; valores de resposta entre 3 e 7, considerada aprovada com alteração e valores de resposta maiores que 7, a cerveja está totalmente aprovada para consumo.

Figura 7 – Representação gráfica da variável linguística qualidade da cerveja e suas funções de pertinência. (-) Reprovada; (-) Aprovada com alterações; (-) Aprovada.



Fonte: Próprio autor, 2022.

A Tabela 1 destaca a Base de Regras Fuzzy utilizada no desenvolvimento do trabalho obtida pelo software INFUZZY e as regras apresentam o formato SE <antecedentes> ENTÃO <consequentes>.

Se fosse considerada todas as possibilidades de regras (multiplicação das variáveis linguística de cada variável de entrada seria $3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 3 = 162$ regras). Porém, como forma de otimizar a programação e, por meio do conhecimento do especialista no processo, foi possível diminuir consideravelmente o número de regras, um total de 9, de forma que abrangesse todo o universo estudado em questão. Ressaltando que as regras foram formadas pelos seguintes conectivos, exemplo:

SE CO₂ = Ideal **E** Cor = Amarelo-Ouro **E** Densidade = Ideal **E** pH = Ideal **E** Teor Alcoólico = Ideal **ENTÃO** Qualidade da Cerveja = Aprovada.

Exceto para última regra em que foi substituído **E** pelo **OU**, ficando representada:

SE CO₂ = Baixo **OU** Densidade = Não Ideal **OU** pH = Baixo **ENTÃO** Qualidade da Cerveja = Reprovada.

Tabela 1 – Base de regras proposta para avaliação da qualidade das cervejas.

Variáveis de Entrada					Saída
SE					ENTÃO
CO ₂	Cor	Densidade	pH	Teor Alcoólico	Qualidade das Cervejas
Ideal	Amarelo-ouro	Ideal	Ideal	Ideal	Aprovada
Alto	Amarelo-ouro	Ideal	Ideal	Ideal	Aprovada com Alterações
Ideal	Não Amarelo-ouro	Ideal	Ideal	Ideal	Aprovada com Alterações
Ideal	Amarelo-ouro	Ideal	Alto	Ideal	Aprovada com Alterações
Baixo	Amarelo-ouro	Ideal	Ideal	Ideal	Reprovada
Ideal	Amarelo-ouro	Não Ideal	Ideal	Ideal	Reprovada
Ideal	Amarelo-ouro	Ideal	Baixo	Ideal	Reprovada
Ideal	Amarelo-ouro	Ideal	Ideal	Não Ideal	Reprovada
Baixo	-----	Não Ideal	Baixo	-----	Reprovada

Fonte: Próprio autor, 2022.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sistema Fuzzy para determinar a Qualidade da cerveja

Várias simulações foram realizadas para verificar a eficiência do sistema de apoio de decisão, ou seja, variação dos valores das variáveis de entrada. As Figuras 8 a 10 destacam os valores correspondentes obtidos em algumas simulações, destacando principalmente a variação do Teor Alcoólico, os valores de CO₂ e pH, respectivamente.

A Figura 8 ilustra os resultados numéricos variando o Teor Alcoólico e fixando os demais parâmetros dentro da faixa da idealidade. Observa-se que valores entre 5,0 e 4,50% referente ao Teor alcoólico, a cerveja foi considerada aprovada, com uma nota acima de 8.8; caso contrário, está reprovada com uma nota igual a 1,0. Estes resultados obtidos estão de acordo com NASCIMENTO (2018).

Figura 8 – Variação do Teor Alcoólico para a avaliação da Qualidade da Cerveja.

CO2	Densidade	pH	Cor	TeorAlcoolico	QualidadeCervejeir
0,57	1010,00	4,30	3,00	5,00	10,00
0,57	1010,00	4,30	3,00	4,90	9,80
0,57	1.010,00	4,30	3,00	4,80	9,55
0,57	1.010,00	4,30	3,00	4,70	9,30
0,57	1.010,00	4,30	3,00	4,60	9,05
0,57	1.010,00	4,30	3,00	4,50	8,80
0,57	1.010,00	4,30	3,00	4,40	1,00

Fonte: Próprio autor, 2022.

Em seguida, seguindo o mesmo procedimento, variou-se os valores do CO₂ para novas simulações e os resultados estão expressos na Figura 9. As simulações começaram por valores acima do ideal, em que se pode observar que a cerveja foi aprovada com alteração, com uma nota 5,0.

Figura 9 – Variação do CO₂ para a avaliação da Qualidade da Cerveja

CO2	Densidade	pH	Cor	TeorAlcoolico	QualidadeCervejeir
0,62	1.010,00	4,30	3,00	5,00	5,00
0,61	1.010,00	4,30	3,00	5,00	9,00
0,60	1.010,00	4,30	3,00	5,00	9,50
0,58	1.010,00	4,30	3,00	5,00	10,00
0,56	1.010,00	4,30	3,00	5,00	10,00
0,54	1.010,00	4,30	3,00	5,00	9,00
0,52	1.010,00	4,30	3,00	5,00	0,80

Fonte: Próprio autor, 2022.

Isto ocorre, pois, valores de CO₂ altos não alteram o sabor e a sensação de beber a cerveja, mas com risco de estourar a tampa. Valores de CO₂ abaixo 0,55, a cerveja já começa a apresentar um baixo teor de carbonatação e a qualidade é comprometida e deste modo, a cerveja se encontra reprovada, atingindo valores de Qualidade da cerveja inferiores a 1,0, ilustrando o quanto a variável CO₂ é importante no processo de produção da cerveja.

Variando-se os valores do pH (Figura 10), os resultados mostraram que para

valores de pH ligeiramente acima do ideal, a cerveja deverá ser reavaliada sendo considerada aprovada com alteração. Já em relação a cor final da cerveja, esta variável não influencia diretamente no sabor da cerveja e por isso, caso a cor não esteja ajustada é necessário avaliar a situação da cerveja e verificar se encontra aprovada com alteração. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por HOFFMAN et al (2016).

Figura 10 – Variação do pH para a avaliação da Qualidade da Cerveja

CO2	Densidade	pH	Cor	TeorAlcoolico	QualidadeCervejeir
0,57	1.010,00	4,70	3,00	5,00	5,00
0,57	1.010,00	4,60	3,00	5,00	6,87
0,57	1.010,00	4,40	3,00	5,00	10,00
0,57	1.010,00	4,20	3,00	5,00	10,00
0,57	1.010,00	4,10	3,00	5,00	9,20
0,57	1.010,00	4,00	3,00	5,00	5,00
0,57	1.010,00	3,90	3,00	5,00	1,25

Fonte: Próprio autor, 2022.

Superfície de resposta para avaliar a qualidade da cerveja Pilsen

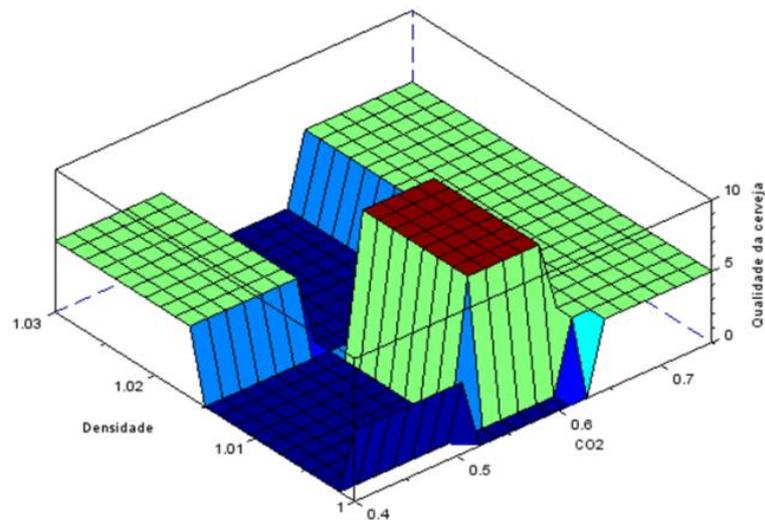
Seguindo com o objetivo da aplicação da lógica Fuzzy para a avaliação da qualidade da cerveja Pilsen, foi desenvolvido um segundo sistema de apoio de decisão no Software livre Scilab® por meio do *toolbox* Fuzzy, considerando as variações nas distintas faixas de especificações dos 05 parâmetros físico-químicos descritos anteriormente.

As Figuras das Funções de Pertinência para cada um dos parâmetros físico-químicos estudados foram o mesmo quando se utilizou o Software INFUZZY e deste modo não serão ilustrados novamente nesta etapa. No intervalo entre a Figura 11 a 17, são ilustradas as superfícies de respostas obtidas levando em consideração as variáveis estudadas: CO₂, Densidade, pH, Cor e Teor Alcoólico. Como se observou que os parâmetros CO₂ e Teor alcoólico apresentam uma influência maior em relação as demais variáveis, decidiu-se ilustrar as respostas obtidas em função destas duas principais.

Por meio da Figura 11 pode-se observar que para a cerveja ser considerada aprovada, somente quando os valores de ambas as variáveis de interesse estiverem dentro dos padrões exigidos. Quando alguma destas variáveis apresentar valores não ideais, a

cerveja será considerada aprovada com alteração (valores de CO₂ acima de 0.6) ou mesmo reprovada (valores de densidade menores de 1.015).

Figura 11 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas CO₂ × Densidade.



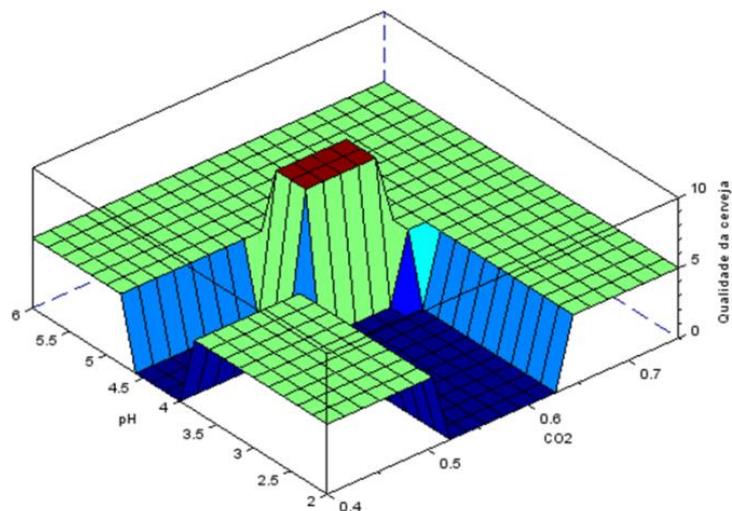
Fonte: Próprio autor, 2022.

A Figura 12 ilustra os resultados quando se utilizou como variáveis de entrada o CO₂ e pH e pode-se observar que, como era esperado pelas regras Fuzzy, que uma cerveja só seria considerada aprovada quando todos os valores de entrada estivessem dentro dos padrões estabelecidos (valores de CO₂ entre 0.5 e 0.6 e valores de pH em torno de 4,0 a 4,5).

A Figura 13 ilustra os resultados obtidos por meio da superfície de resposta levando em consideração agora as variáveis linguísticas CO₂ e Cor. Pode-se observar que a qualidade da cerveja será reprovada se valores de Cor estiver entre 2,5 e 5,5 e valores de CO₂ menores que 0.5. Por outro lado, a cerveja está dentro das normas para consumo quando os valores das variáveis em estudo estiverem dentro dos padrões estabelecidos.

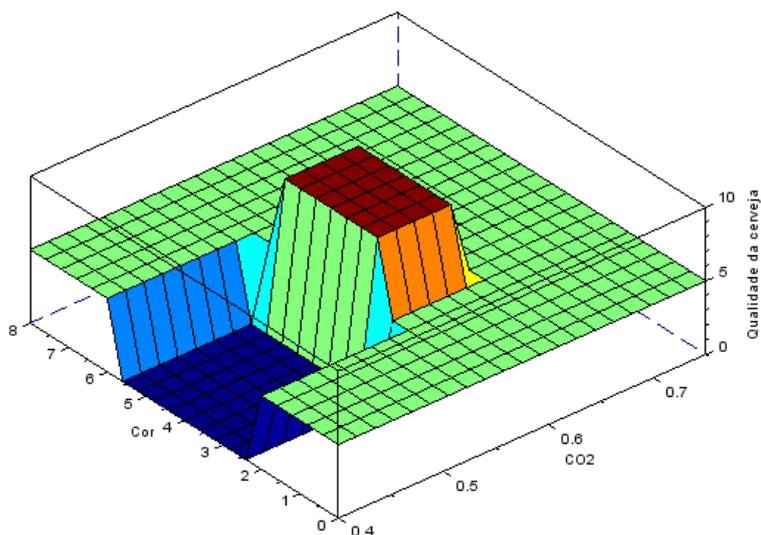
Os mesmos resultados podem ser observados na Figura 14, quando se avaliou o Teor alcoólico e o CO que a cerveja irá ser considerada aprovada quando o valor de CO₂ estiver dentro da faixa de 0,57 a 0,62 e o Teor Alcoólico entre 4,5 e 5,5, resultados estes que estão de acordo com os resultados ilustrados na Figura 9.

Figura 12 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas CO₂ × pH.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 13 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas CO₂ × Cor.

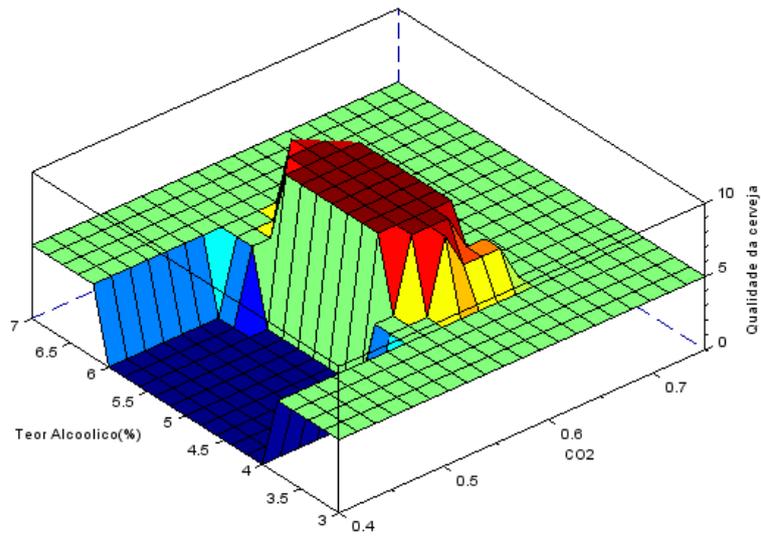


Fonte: Próprio autor, 2022.

Entretanto, analisando a Figura 15 que ilustra os resultados para as variáveis Densidade e Teor Alcólico, pode se observar que a qualidade da cerveja será considerada *aprovada* (grau de pertinência de defuzzificação de 10,0) quando os valores de densidade estiverem dentro do intervalo de 1.010 e 1.020 e o valor do Teor Alcoólico

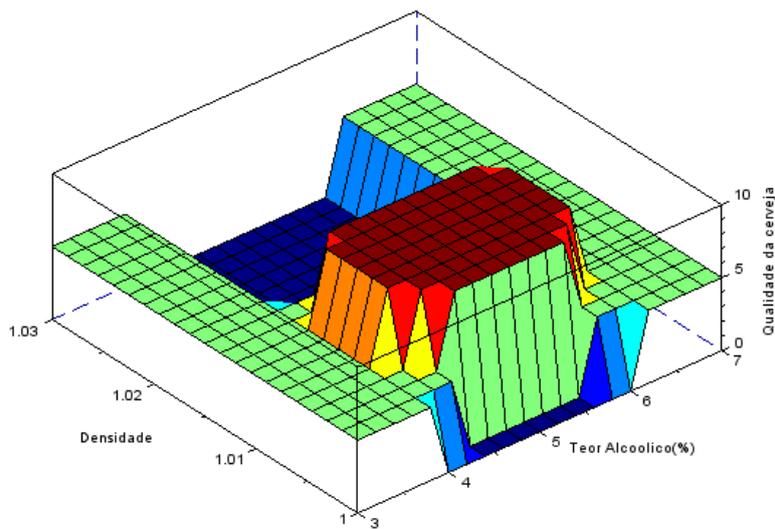
estiver dentro do ideal, ou seja, entre 4 e 6%. Se o Teor Alcoólico estiver fora desta faixa destacada, a cerveja será considerada *aprovada com alteração*, com um grau de pertinência de 5,0.

Figura 14 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas CO₂ × Teor Alcoólico.



Fonte: Próprio autor, 2022.

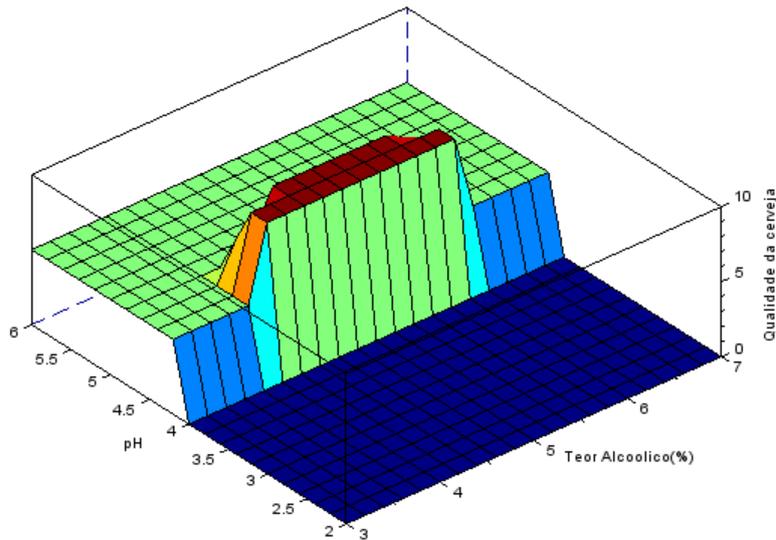
Figura 15 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas Teor Alcoólico × Densidade.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Já em relação a variável pH (Figura 16), pode-se observar que para valores de pH menores que a qualidade da cerveja já é considerada reprovada, sendo aprovada para consumo somente quando os valores de pH estiverem em torno de 4,2 a 4,5 e o Teor alcoólico entre 4,0 e 5,5%.

Figura 16 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas Teor Alcoólico × pH.

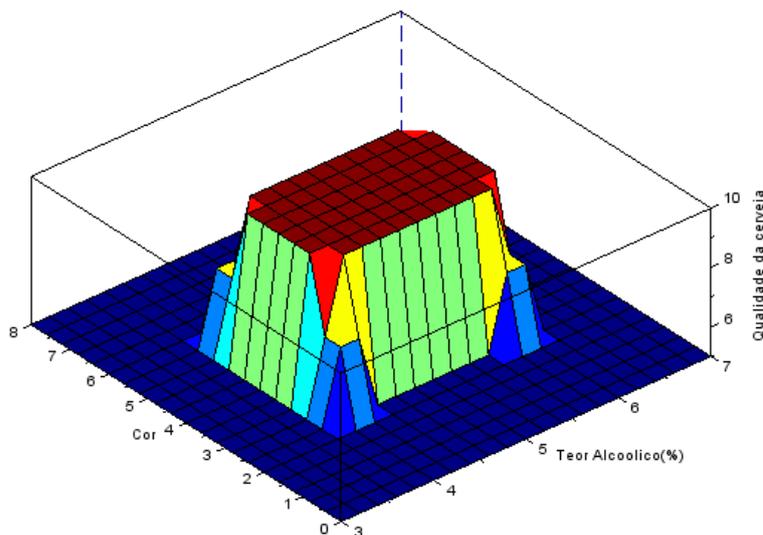


Fonte: Próprio autor, 2022.

Deste modo, por meio das simulações e pelas superfícies de resposta, pode-se identificar também que durante as simulações, o modelo de variar apenas uma variável e manter as demais em valores ideais possibilitou perceber que a variável pH se destaca no processo de produção de cerveja por contribuir diretamente para os valores das variáveis densidade e teor alcoólico (ressaltado pela legislação) e a variável CO₂ principalmente em relação a sua influência direta com a segurança de armazenagem do produto, além da variável Teor alcoólico que precisa seguir as normas vigentes para aprovação do produto.

Entretanto, quando se analisou as variáveis de entrada Teor Alcoólico e Cor (Figura 17), a cerveja estará de forma aprovada somente quando os valores destas estiverem dentro da idealidade, caso contrário, a qualidade será considerada reprovada.

Figura 17 – Superfície de resposta com as variáveis linguísticas Teor Alcoólico × Cor.



Fonte: Próprio autor, 2022.

CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos, pode-se destacar a aplicabilidade da lógica Fuzzy em um Bioprocessos. A utilização do software INFUZZY possibilitou a avaliação da qualidade da cerveja com respostas de forma numérica, ou seja, uma melhor avaliação da problemática envolvida. Isto se justifica, imaginando a inclusão do problema em estudo em um controle de processo automatizado. Utilizando as variáveis de entrada (CO₂, pH, Densidade, Cor e Teor Alcoólico) foi possível ter com uma boa precisão a qualidade da cerveja.

Pelas Superfícies de respostas, pode-se avaliar cada variável dentro do seu universo de trabalho, observar as regiões e intervalos onde a qualidade da cerveja é considerada principalmente como aprovada.

REFERÊNCIAS

BORTOLI, D. A. S.; et al. **Leveduras e produção de cervejas: revisão**. Bioenergia em Revista - Diálogos, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 45-58, 2013.

HOFFMAN, L. A; QUADRELLI, G; PIZZOLATO, N.D; ARAUJO, F.O. Proposta de sistema baseado em lógica Fuzzy como modelo de apoio a decisão para a qualidade do produto acabado em uma microcervejaria brasileira. **Espacios**, v. 38, p.31, 2017.

- LUCAS, C. A. Uma Introdução à Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 17–28, 2011.
- MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. A produção de cerveja no Brasil. **Citino**, v. 1, n. 1, p. 34-42, 2011.
- NASCIMENTO, L. **Aproveitamento da torta residual da extração do óleo da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*) como adjunto de malte na produção de cerveja**. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ). Universidade Federal de São João Del-Rei. 2018.
- NETO, J. C. B. ., CRISTINA ARAÚJO PARREIRA, C., SALES, J. V. C. S., RIBEIRO, B. P. ., LAIZO, W. S. ., MONTEIRO, F. C. ., DE FREITAS, J. A. Aplicação da Lógica Fuzzy para previsão de parâmetros em um reator nuclear. **Conjecturas**, 22(2), 778–786, 2022. <https://doi.org/10.53660/CONJ-734-B05>.
- NUCCI, E. R. et al. A Fuzzy logic algorithm for identification of the harvesting threshold during PGA production by *Bacillus megaterium*. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 4, p. 521–527, 2005.
- POSSELT, E. L.; FROZZA, R.; MOLZ, R. F. INFUZZY: Ferramenta para desenvolvimento de aplicações de sistemas difusos. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**. Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 42-52, 2015.
- PRADO, P. H. S.; FREGOLANTE, L. V.; AFONSO, A.P. **Avaliação de risco: uma abordagem baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy**. In: 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2017.
- REZENDE, SOLANGE OLIVEIRA. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2005.
- ROSA, N.A; AFONSO, J.C. **A Química da Cerveja**. Química e Sociedade, São Paulo, v.37, p. 98-105, 2015.
- SOUSA, R.; ALMEIDA, P. I. F. Design of a Fuzzy system for the control of a biochemical reactor in fed-batch culture. **Process Biochemistry**, v. 37, n. 5, p. 461–469, 2001.

Recebido em: 21/10/2022

Aprovado em: 25/11/2022

Publicado em: 01/12/2022