

Análise fuzzy do efeito da composição da solução osmótica nas propriedades de tomates secos

Nádia S. Veiga¹,

FEAGRI – UNICAMP, 13.081-970, Campinas/SP.

Gisele A. Camargo²,

Centro de Pesq.Desenv.de Frutas e Hortaliças, ITAL, 13.070-170, Campinas/SP.

Mariângela Amendola³,

FEAGRI – UNICAMP, 13.081-970, Campinas/SP.

Resumo. Este trabalho mostra a comparação dos resultados obtidos pelo uso de duas metodologias empregadas para o suporte à decisão na implementação de tratamentos de produtos agrícolas após a colheita, com o objetivo específico de assegurar a qualidade e conservação de tomates submetidos ao processo de secagem osmótica. Os resultados previamente difundidos foram obtidos pelo uso da metodologia de superfície de resposta, segundo o *software Statistica*, e a comparação é realizada com os obtidos do uso da teoria dos conjuntos *fuzzy*, segundo o *toolbox* do MATLAB[®]. Foi analisado o efeito da composição de duas variáveis independentes que caracterizam a solução osmótica: sal e ácido cítrico, em uma das variáveis dependentes que quantificam propriedades dos tomates como a perda percentual de massa, a incorporação percentual de sólidos e a variação percentual no teor de sólidos solúveis. Os resultados obtidos da comparação referida mostram concordância, o que revela o uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* como uma ferramenta útil e de fácil uso para o processo de decisão para a implementação de tratamentos de produtos agrícolas após a colheita.

Palavras-chave: *Sistemas de suporte a decisão, tomates, teoria fuzzy, secagem osmótica*

¹nadia.veiga@agr.unicamp.br

²camargo@ital.sp.gov.br

³amendola@agr.unicamp.br

1. Introdução

O uso de soluções contendo açúcares, sal e ácidos fracos em pré-tratamento osmótico de frutas e hortaliças é uma alternativa promissora quando comparada à secagem convencional, pois apresenta vantagens como, por exemplo, a economia de energia, o aumento no teor de sólidos e a melhorias na cor e no sabor do produto final. Além disso, o pré-tratamento osmótico em soluções concentradas e seu uso combinado a outros processos como, por exemplo, o processo de secagem convectiva, têm sido efetivos na redução do colapso estrutural de frutos delicados, mesmo quando processos agressivos, como congelamento ou tratamento térmico são posteriormente aplicados (Maestrelli et al., 2001), resultando, portanto, em produtos com características sensoriais apropriadas (Argandoña et al., 2002; Camargo et al., 2007).

Esses argumentos levaram à pesquisa de Doutorado (Camargo, 2005) que mostra, dentre outros, os resultados da análise do efeito da composição da solução osmótica em propriedades dos tomates como, por exemplo, a perda percentual de massa, a incorporação percentual de sólidos e a variação percentual no teor de sólidos solúveis dos tomates submetidos a este tipo de processo de secagem, que foi realizada segundo a metodologia de superfície de resposta do software Statistica 6.0 (Statsoft Inc., 2001). As considerações subjetivas e imprecisas para a análise das variáveis envolvidas, como apresentadas na referida pesquisa, revelam as mesmas como sendo da classe de variáveis do tipo lingüísticas e, portanto, naturais do ser humano, o que, segundo Amendola et al. (2005), são as aptas para a análise segundo a teoria dos conjuntos *fuzzy*, o que incentivou o desenvolvimento de pesquisas anteriormente realizadas e somente divulgadas em congressos (Veiga et al., 2007a,b), cujos resultados são mostradas no presente trabalho de pesquisa.

2. Material e Métodos

Ainda que os procedimentos experimentais encontrem-se detalhadamente descritos em Camargo (2005), no que segue são apresentadas algumas especificações para a facilidade de compreensão deste trabalho.

Os dados experimentais são referentes a tomates da variedade Andréia, tipo italiano, obtidos nas Centrais de Abastecimento de Campinas S.A. – CEASA, localizado em Campinas/SP-Brasil, que foram processados no Laboratório de Frutas e Hortaliças do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

Os tomates foram acondicionados em caixas plásticas vazadas, contendo em média 17,5 kg, mantidos no laboratório à temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) até atingirem a cor

definida como “vermelha” ou “molho”. Para tal definição os tomates foram comparados com a cartilha de padrão de cores estabelecida pelo Programa de Padronização de Horti & Fruti do Estado de São Paulo (CEAGESP, 2005).

Após a seleção os tomates passaram por um processo de lavagem por imersão em três etapas: 1) 20 min em solução de 100 mg/L de cloro ativo, 2) 10 min em solução de 50 mg/L do mesmo produto e 3) lavagem final em água limpa. Posteriormente esses tomates foram cortados ao meio, as sementes foram retiradas, e foram submetidos ao tratamento osmótico em uma solução com 65° Brix.

Foram realizados onze experimentos com distintas combinações das concentrações de sal (NaCl (%)) e ácido cítrico (AC(%)), todos com 25% p/p de sacarose e 40% p/p de açúcares invertidos. O pré-tratamento osmótico foi realizado a temperatura de 45°C durante 40 minutos, mantendo-se uma proporção fruto: xarope de 1:4, sob agitação de 250 ppm.

Para as análises segundo ambas as metodologias selecionadas, são consideradas as variáveis independentes: NaCl (%) e AC (%), e as variáveis dependentes que são tomadas uma a uma: a perda percentual de massa do produto (PM(%)), a incorporação percentual de sólidos (IS (%)) e a variação percentual no teor de sólidos solúveis (VSS (%)).

Os conceitos e procedimentos estatísticos envolvidos na metodologia de superfície de resposta encontram-se brevemente descritos e exemplificados em (Barros Neto et al., 1995), onde se encontram as referências clássicas desta que é das técnicas de otimização. Trata-se de uma metodologia alternativa, dentre outras disponíveis na literatura, para a busca de um modelo matemático empírico capaz de descrever a relação entre as variáveis dinâmicas observadas ao longo de um processo físico-químico, sempre que coletadas de acordo com um planejamento estatístico adequado. Esta metodologia, portanto, se mostrou promissora para a busca do modelo capaz de gerar conhecimentos do processo de secagem osmótica dos tomates quando consideradas as variáveis PM, IS e VSS, que foram adequadamente coletadas.

Assim, por exemplo, para a análise da variável PM, toma-se a tanto o que consta da tabela 1, que mostra a enumeração e as especificações das condições dos experimentos realizados referentes às concentrações de NaCl e AC, e os associados resultados obtidos de PM, bem como o que mostra a Figura 1, que mostra a correspondente superfície de resposta resultante da inserção das referidas especificações no software Statistica 6.0 (Camargo, 2005).

A importância dos resultados que são mostrados na Figura 1 está relacionada à possibilidade da tomada de decisão sobre a especificação de intervalos de valores de concentrações de NaCl e AC na solução osmótica, em função dos valores de PM que apresentam características sensoriais apropriadas. Neste sentido, por exemplo, pode-se observar nesta

Tabela 1: Enumeração e especificações dos experimentos realizados referentes às concentrações de NaCl e AC e a associada resposta em termos dos valores de PM.

Experimento	NaCl(%)	AC (%)	PM (%)
1	2,65	3,50	25,68
2	2,65	6,00	27,13
3	5,85	3,50	30,25
4	5,85	6,00	28,94
5	2,00	4,75	26,36
6	6,50	4,75	34,63
7	4,25	3,00	24,85
8	4,25	6,50	21,99
9	4,25	4,75	23,25
10	4,25	4,75	23,25
11	4,25	4,75	23,25

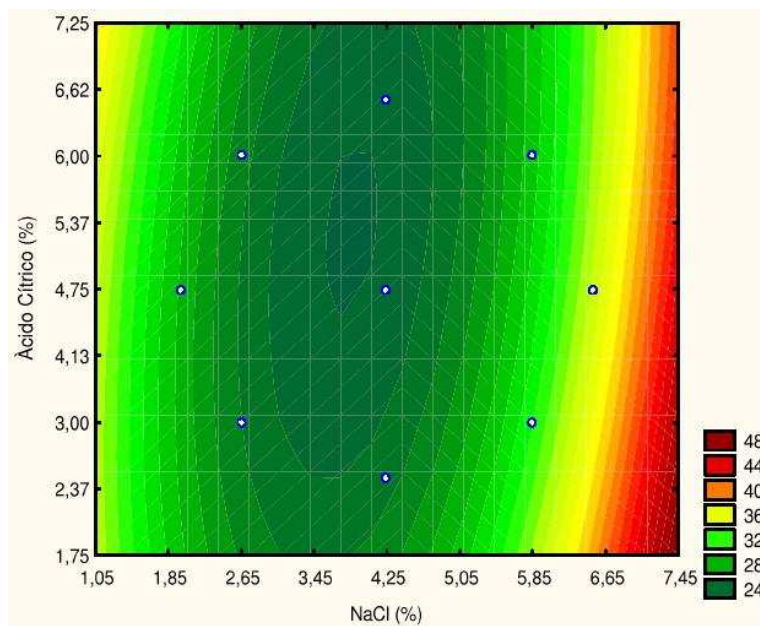


Figura 1: Superfície de resposta do efeito da concentração de NaCl e AC na PM, após 40 minutos de tratamento osmótico de tomate.

figura que valores de concentrações de NaCl em torno de 7% resultam em valores de PM em torno de 40%, quase que independentemente dos valores de concentração de AC, sendo

tal categoria de PM a que traduz o processo como sendo osmótico eficiente. Esse tipo de observação, obtida da análise segundo intervalos imprecisos das variáveis envolvidas e estabelecidas de acordo com regras estabelecidas entre as mesmas, conforme o conhecimento dos especialistas, as caracteriza, portanto, como aptas para serem também analisadas segundo a teoria dos conjuntos *fuzzy*, cujos princípios básicos brevemente comentados no que segue, constam, por exemplo, em Pedrycz e Gomide (1998).

O conceito de conjuntos *fuzzy* foi criado em 1965 por Loft Zadeh, que caracteriza um conjunto *fuzzy* por uma função que atribui graus de pertinência a cada um dos seus elementos. A função de pertinência assume valores dentro do intervalo $[0,1]$. Formalmente, dado um conjunto universo U , A é considerado um subconjunto *fuzzy* de U se A é representado por um conjunto de pares ordenados como:

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in U; \mu_A(x) \in [0, 1]\}$$

em que: $\mu_A(x)$ é a função de pertinência que determina com que grau $x \in A$.

Portanto, diferente da teoria de conjuntos clássica na qual a função de pertinência assume apenas os valores zero - indicando que o elemento não pertence ao conjunto -, ou um - indicando que o elemento pertence totalmente ao conjunto -, na teoria de conjuntos *fuzzy*, os elementos podem estar associados a graus de pertinência entre zero e um, indicando que os mesmos podem pertencer parcialmente a um ou outro conjunto, com um grau de pertinência que deve ser determinado.

Por estar baseada em regras que descrevem linguisticamente a relação entre as variáveis independentes (entrada) e a variável dependente (saída), este tipo de metodologia destaca-se pela sua simplicidade de formulação e interpretação, o que a torna uma alternativa bastante atrativa para auxiliar o processo de tomada de decisão. Por serem capazes de absorver incertezas, na utilização de regras *fuzzy*, uma mesma premissa pode levar a diferentes consequências. O mecanismo utilizado para se obter uma única resposta a partir de um conjunto de regras *fuzzy* recebe o nome de sistema de inferência que é constituído de etapas que especificam também os processos denominados de fuzzificação e defuzzificação, como segue esquematizado na Figura 2.

Para fazer uso desta teoria, portanto, devem ser criadas as regras linguísticas entre as variáveis, o que segue com base no conhecimento de especialistas da área experimental, bem como devem ser selecionados o tipo de funções de pertinência e os métodos de fuzzificação e defuzzificação segundo a interpretação do usuário do *toolbox fuzzy* do MATLAB.

As funções de pertinência selecionadas foram as do tipo triangulares, caracterizadas pela terna (a,b,c) , onde a e c determinam o suporte e b o ponto onde a função de pertinência é máxima, como mostrado na Figura 3 e descrita matematicamente por:

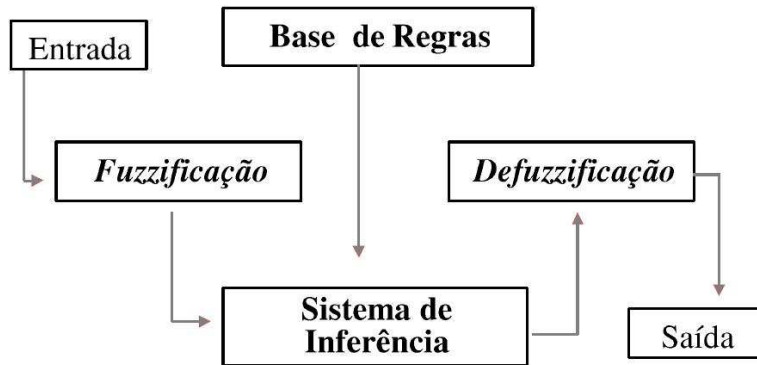


Figura 2: Esquema de um sistema de inferência *fuzzy*.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } c < x \end{cases} \quad (2.1)$$

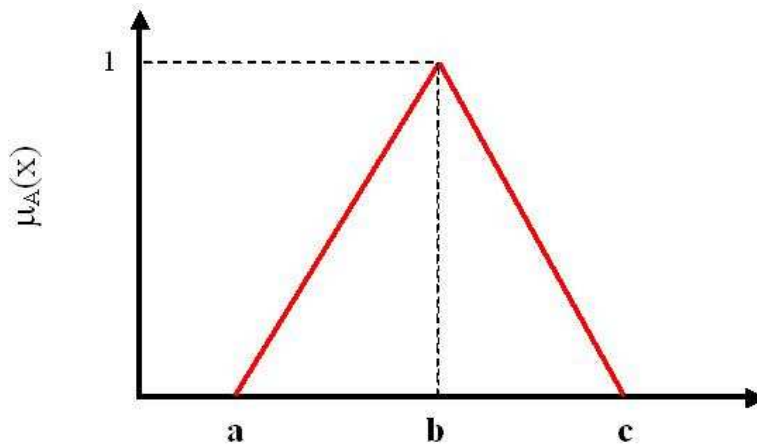


Figura 3: Representação de funções de pertinência triangulares.

Foram selecionados os métodos de Mandani para a fuzzificação, que combina os graus de pertinência associados aos valores de entrada através do operador Mínimo (min), e o método do centro de gravidade para a defuzzificação.

3. Resultados e Discussão

Primeiramente, com base no que é mostrado na Figura 1, foi elaborada a classificação das variáveis em questão, por meio da enumeração em níveis linguísticos, e foram definidos os valores da terna (a,b,c), como requer esta metodologia. Para tanto foram considerados 14, 4 e 10 sub-níveis para as variáveis NaCl, CA e PM, respectivamente, todos dentre 3 níveis linguísticos: baixa, média e alta concentração, resultndo no que é mostrado na Figura 4. As informações que aparecem na Figura 4, quando inseridas no *toolbox fuzzy* do MATLAB geram a representação das funções de pertinência das referidas variáveis, como mostrado nas figuras 5, 6 e 7, respectivamente. Em seguida, também com base no que é mostrado na Figura 1, foi criado o conjunto de regras linguísticas entre as variáveis envolvidas, como mostrado na matriz de valores da tabela 2 (Veiga et al., 2007a,b).

A interpretação dos resultados mostrados nesta tabela 2 deve seguir de acordo com a convenção da teoria *fuzzy*, na qual verifica-se, por exemplo, que o valor ressaltado de PM, PM (2,5), referente ao nível de PM encontrado na linha 2 e coluna 5, é o obtido como função da composição dos níveis 2 de AC e 5 de NaCl, segundo os operadores lógicos conectivos SE, E e ENTÃO como segue:

SE AC é do nível 2 **E** NaCl é do nível 5, **ENTÃO** PM é do nível 2.

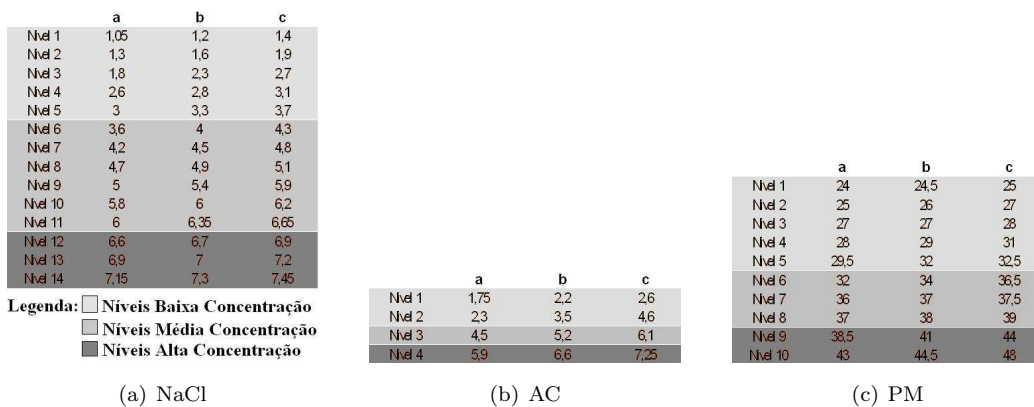


Figura 4: Classificação dos níveis das variáveis NaCl (4(a)), AC (4(b)) e PM (4(c)) e as respectivas especificações dos valores “a” e “c” do suporte, e do valor “b” onde a função de pertinência assume o valor máximo.

As regras estabelecidas na tabela 2, quando inseridas no *toolbox fuzzy* do MATLAB, reproduz a variação de PM como função da composição de NaCl e AC, agora de acordo com a teoria *fuzzy*, o que é apresentado na figura 8.

A comparação do que é apresentado nas figuras 1 e 8 permite concluir que ambas

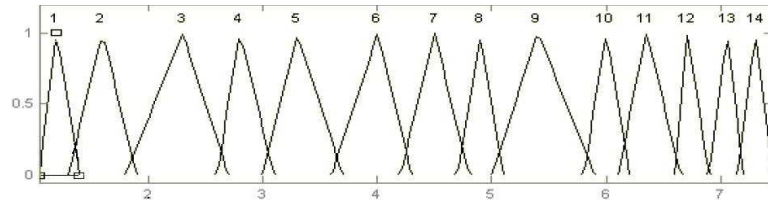


Figura 5: Representação das funções de pertinência para a variável NaCl.

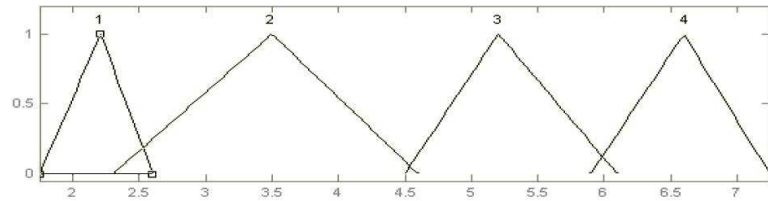


Figura 6: Representação das funções de pertinência para a variável AC.

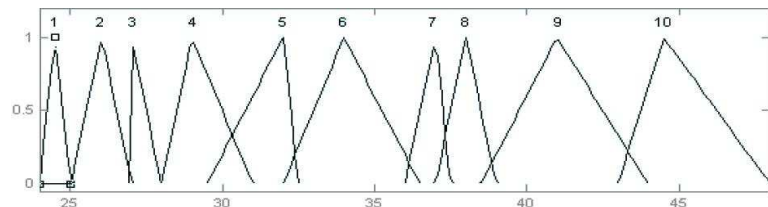


Figura 7: Representação das funções de pertinência para a variável PM.

Tabela 2: Conjunto de regras entre as variáveis níveis de PM como função dos níveis de NaCl e AC.

AC \ NaCl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	7	6	4	3	3	2	3	3	4	5	6	7	8	9
2	7	5	5	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	6	5	5	3	2	2	2	3	4	5	6	8	9	10
4	6	5	5	4	3	3	4	4	5	6	7	9	10	10

as metodologias são capazes de reproduzir o conhecimento do especialista. Entretanto, por ser de fácil manipulação, a obtenção deste tipo de resultado pelo uso do *toolbox fuzzy* do MATLAB permite o suporte a decisão para vários cenários, o que pode ser facilmente realizado pela seleção de valores específicos de NaCl e/ou AC. Assim, para o caso em que se seleciona um valor fixo de NaCl, como, por exemplo, o valor 6,9 %, pode-se buscar o

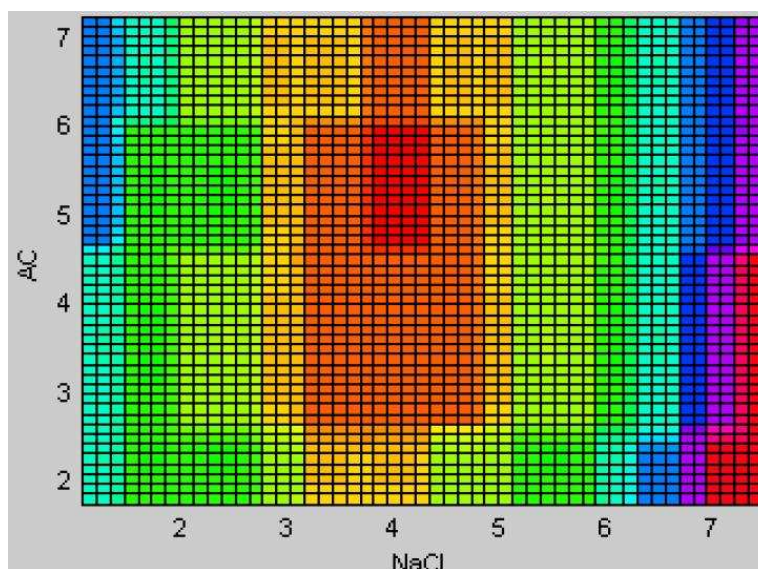


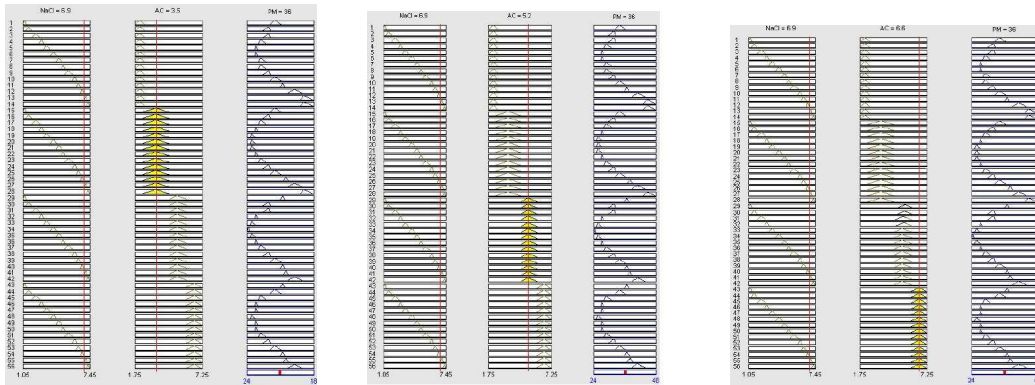
Figura 8: Representação da variação de PM como função das concentrações de NaCl e AC segundo a teoria dos conjuntos *fuzzy*.

efeito desejado em PM como função de distintos valores de AC, como os que mostram as figuras 9(a), 9(b) e 9(c), que foram geradas movendo-se o cursor em valores de AC dos 3 níveis de classificação consideradas como baixa, média ou alta, neste exemplo especificados como sendo 3,5 %, 5,2 % e 6,6 %, respectivamente.

A análise dos resultados apresentados nas figuras 9(a), 9(b) e 9(c), mostram que o nível da classificação resultante de PM é média, independentemente dos valores de AC considerados, cujo valor de 36 % concorda qualitativamente com a análise ressaltada pela pesquisa que usou da metodologia de superfície de resposta, na qual, para o mesmo cenário, mostra o valor de 40 %.

A conclusão sobre a concordância do uso das duas metodologias bem como a indicação da facilidade do uso do *toolbox fuzzy* do MATLAB para este tipo de análise justificam a continuidade do seu uso para a interpretação das outras variáveis que caracterizam as propriedades dos tomates submetidos a este processo de secagem de acordo com distintas composições da solução osmótica.

Neste sentido, no que segue são mostradas as reproduções das regras para as variáveis dependentes: incorporação percentual de sólidos (IS) e variação percentual no teor de sólidos solúveis (VSS), como função da composição das variáveis NaCl e AC, que, de forma análoga ao que foi realizado para PM, foram extraídas de Camargo (2005) e



(a) Visualização das regras acionadas para a seleção dos valores NaCl= 6,9 % e AC = 3,5 %.

(b) Visualização das regras acionadas para a seleção dos valores NaCl = 6,9 % e AC = 5,2 %.

(c) Visualização das regras acionadas para a seleção dos valores NaCl= 6,9 % e AC = 6,6 %.

Figura 9: Visualização das regras acionadas para alguns valores de NaCl, AC.

analisadas segundo a teoria dos conjuntos fuzzy por Veiga et al. (2007c).

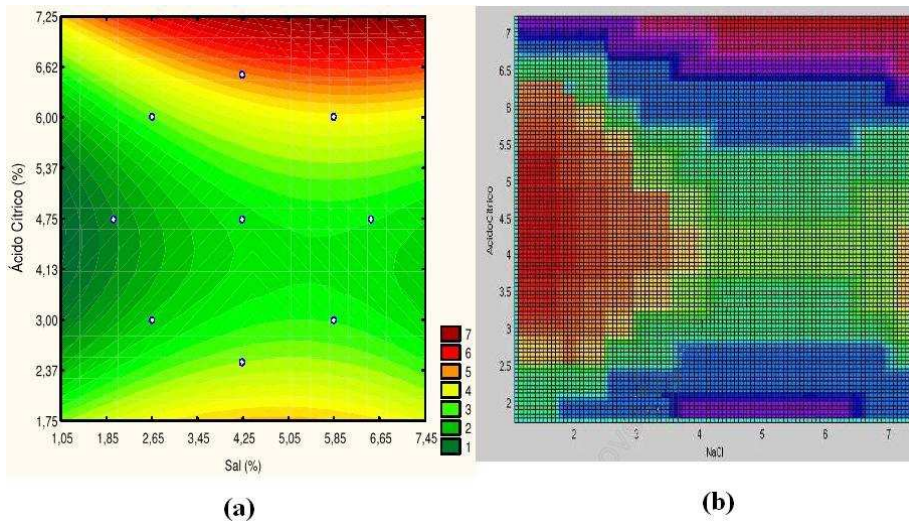


Figura 10: Efeito da concentração de NaCl e AC na variável IS após 40 min pelo uso das metodologias : (a) Superfície de resposta e (b) teoria dos conjuntos fuzzy.

Na Figura 10 confirma-se que concentrações de AC maiores que 6,00% geraram maiores valores IS para valores de NaCl cada vez maiores e a partir de 3,45, enquanto na

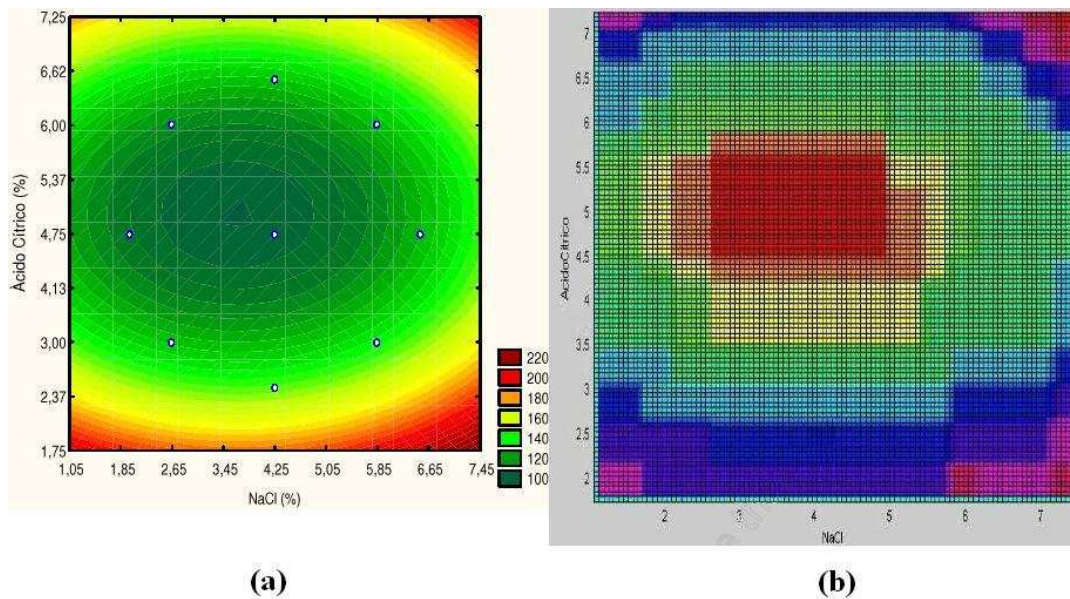


Figura 11: Efeito da concentração de NaCl e AC na variável VSS após 40 min pelo uso das metodologias : (a) Superfície de resposta e (b) teoria dos conjuntos fuzzy.

Figura 10 confirma-se que o maior acréscimo no valor de VSS ocorre para os valores de AC inferiores a 2,37% e superiores a 6,62%, combinadas com uma ampla faixa de concentração de NaCl.

Além disso, como foi observado anteriormente para a variável PM, as discordâncias quantitativas da comparação das partes (a) e (b) das Figuras 10 e 11, podem ser melhoradas, a partir de ajustes no estabelecimento das regras ou das funções de pertinência estabelecidas, o que será realizado posteriormente e sempre, sob a orientação do especialista.

4. Conclusões

Os resultados obtidos segundo a metodologia baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy* (trabalho de pesquisa pioneiro na área de tecnologia pós-colheita da FEAGRI/UNICAMP) mostram concordância qualitativa quando comparados com os obtidos da análise previamente realizada (usual na mesma área), fato que revela o uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* como mais uma ferramenta útil no processo de decisão de tratamentos de produtos agrícolas.

As discordâncias quantitativas sugerem ajustes no estabelecimento das regras ou das funções de pertinência, o que pode ser realizado posteriormente.

O uso do *toolbox fuzzy* do MATLAB permite gerar distintos cenários das combinações das concentrações de NaCl e AC em função do valor desejado da variável dependente tomada como o indicador da eficiência do processo de secagem, o que é realizado de forma muito simples, bastando para tanto navegar com o cursor nas figuras que reproduzem as regras, fato que sugere o uso do mesmo para outros processos de decisão para o tratamento de produtos agrícolas.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos comitês científicos dos “Congresso Interno de Iniciação Científica 2007”, “Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional - CNMAC/2007” e “Congresso da Sociedade Latino Americana de Biologia Matemática/ 2007”, pela oportunidade de apresentar ou discutir resultados parciais entre especialistas, ao FAEPEX/ UNICAMP pelo auxílio financeiro para a participação no CNMAC/2007.

Referências

- Amendola, M., Souza, A. L., e Barros, L. C. (2005). Manual do uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* no matlab 6.5. Versão 2005 do manual apresentado no Ciclo de Palestras/2004, realizado na FEAGRI/UNICAMP. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~biomat/revistas.htm>, Acesso em 15/Mai/2007.
- Argandoña, E. J. S., Nishiyama, C., e Hubinger, M. D. (2002). Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em soluções de sacarose em adição de ácidos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(12):1803–1810.
- Barros Neto, B., Scarminio, I. S., e Bruns, R. E. (1995). *Planejamento e otimização de experimentos*. Ed. UNICAMP, 2ª ed., Campinas/SP.
- Camargo, G. A. (2005). *Novas tecnologias e pré-tratamentos: tomate seco embalado a vácuo*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP, Campinas.
- Camargo, G. A., Haj-Isa, N. M. A., e Queiroz, M. R. (2007). Avaliação da qualidade de tomate seco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11:1–7.

- CEAGESP, C. (2005). Programa horti & fruti padrão – Classificação do tomate. Câmara Setorial de Hortaliças do Estado de São Paulo. <http://www.cati.sp.gov.br/novacati/index.php>, Acesso em 12/Abr/2005.
- Maestrelli, A., Scalazr, R., Lupi, D., Bertolo, G., e Torreggiani, D. (2001). Partial removal of water before freezing: cultivar and pré-treatment as quality factors of frozen muskmelon (*cucumis melo var. reticulates* naud). *Journal of Food Engineering*, 49:255–260.
- Pedrycz, W. e Gomide, F. (1998). *An introduction to fuzzy sets: analysis and design*. Bradford. Imprensa, Cambridge.
- Statsoft Inc. (2001). Statistica: data analysis software system. [CD-ROM] version 6.
- Veiga, N. S., Amendola, M., e Camargo, G. A. (2007a). Uso da teoria dos conjuntos fuzzy para análise do efeito da concentração de sal e ácido cítrico na obtenção de tomate seco osmoticamente tratado. Anais do Congresso Interno de Iniciação Científica da UNICAMP. Campinas/SP. CD-ROM.
- Veiga, N. S., Amendola, M., e Camargo, G. A. (2007b). Uso da teoria dos conjuntos fuzzy para análise do efeito da concentração de sal e ácido cítrico na obtenção de tomate seco osmoticamente tratado. Anais do Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional - CNMAC/2007 Florianópolis, SC. CD-ROM.
- Veiga, N. S., Amendola, M., e Camargo, G. A. (2007c). Uso da teoria dos conjuntos fuzzy para análise do efeito da concentração de sal e ácido cítrico na obtenção de tomate seco osmoticamente tratado – parte 2. Anais do XIV Congresso da Sociedade Latino Americana de Biologia Matemática, UNICAMP, Campinas/SP. CD-ROM.

