

# Emprego da Metodologia de Superfície de Resposta para Avaliação da Capacidade de Derretimento de Queijo Mussarela Light

## *The Usage of Response Surface Methodology to Evaluate the Non-fat Mozzarella Cheese Melting Process*

Marisol de Oliveira Chiesa<sup>a</sup>; Rafael Tamotsu Sato<sup>b</sup>; Eitor Takashi Hara<sup>c</sup>;  
Christiane Maciel Vasconcellos Barros De Rensis<sup>d\*</sup>

### Resumo

O derretimento é a capacidade que as partículas de queijo têm de coalescerem formando uma massa de queijo uniforme. Vários fatores podem influenciar a capacidade de derretimento do queijo mussarela como, por exemplo, o teor de gordura. A capacidade de derretimento de queijos *light* apresenta-se mais baixa em relação à de um queijo integral uma vez que a matriz protéica possui menor tendência a derreter e fluir. Sendo assim torna-se necessário otimizar uma condição ideal para o derretimento do queijo *light*. O objetivo desse trabalho foi empregar a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) para avaliar a capacidade de derretimento, estabelecendo assim uma temperatura e um tempo ideal, para o queijo mussarela *light*. Os queijos foram adquiridos no mercado e submetidos ao de Schreiber. Os resultados mostraram que a melhor condição para avaliar a capacidade de derretimento do queijo mussarela *light* foi de 124°C/9 minutos.

**Palavras chave:** Queijo mussarela. Reduzido teor de gordura. Superfície de resposta. Temperatura.

### Abstract

*The melting is the ability of cheese particles coalesce into a uniform mass of cheese. Several factors may influence the ability of melting mozzarella cheese, for example, the fat content. The meltability of light mozzarella cheese was lower than a full fat mozzarella cheese since the protein matrix has fewer tendencies to melt and flow. Therefore it is necessary to optimize a condition for melting light cheese. The aim of this study was to employ the Response Surface Methodology (RSM) to evaluate the meltability of light mozzarella cheese, and standardize a single time/temperature condition. The cheeses were purchased at the market and tested using Schreiber's test. The results showed that the best condition for evaluating the melting of light mozzarella cheese 124°C / 9 minutes.*

**Keywords:** Mozzarella cheese. Reduced fat. Response surface. Temperature.

<sup>a</sup> Nutricionista. Mestre em Ciência e Tecnologia do Leite. Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). marisol.1701@gmail.com

<sup>b</sup> Graduando em Farmácia. Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). E-mail: rafael\_sat0@hotmail.com

<sup>c</sup> Graduando em Engenharia de Alimentos. Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). E-mail: eitor\_har@hotmail.com

<sup>d</sup> Doutora em Tecnologia de Alimentos (UNICAMP). Docente da Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). E-mail: christiane@unopar.br

\* Endereço para correspondência: Av. Paris 675 – Jardim Piza – cep 86041-120. Londrina, Paraná.

### 1 Introdução

A redução da concentração de gordura nos lácteos é uma tendência mundial, pois a gordura além de contribuir muito para as calorias ainda pode causar outros problemas de saúde. A gordura pode afetar a saúde e tem um efeito já confirmado no desenvolvimento de algumas doenças como câncer, diabetes, hipertensão e doenças cardíacas. Estas informações têm sido assimiladas pelo público em geral e, como resultado, uma significativa faixa da população está tentando incorporar este conhecimento no seu estilo de vida<sup>1</sup>.

A gordura constitui ingrediente importante para os aspectos sensoriais dos alimentos. Está associada com a percepção do aroma, da cremosidade, do sabor e com a sensação de saciedade após as refeições<sup>2</sup>.

A utilização e o consumo do queijo tipo Mussarela como ingrediente para a confecção de inúmeros pratos quentes,

sanduíches, pizzas, etc vem aumentando nos últimos anos<sup>3</sup>. Levando em consideração que esse tipo de queijo é largamente consumido e atendendo a nova tendência alimentar, o mesmo vem sendo fabricado com reduzido teor de gordura. No entanto a remoção da gordura altera as características do produto final, acarretando defeitos na textura e no sabor<sup>4</sup>.

O queijo mussarela fresco não apresenta boa capacidade de derretimento e é inadequado como ingrediente culinário, necessitando de um período de maturação sob refrigeração (5°C), no qual a proteólise ocorrida no queijo resulta no desenvolvimento de características funcionais desejáveis, como “corpo macio”, boa capacidade de derretimento e elasticidade<sup>5</sup>.

Ao longo do período de armazenamento, observa-se um enfraquecimento da matriz protéica do queijo, que ocorre fundamentalmente em virtude da ação proteolítica do coalho ou coagulante residual. Este evento, denominado proteólise primária, está associado a um aumento da capacidade de derretimento e de retenção de água do queijo, aumento da liberação de óleo livre e redução da firmeza e elasticidade<sup>6</sup>. Oliveira (2001)<sup>7</sup> observou um aumento da capacidade de derretimento em queijo mussarela ao longo do tempo de armazenamento. Este fato está ligado ao aumento nos níveis de proteólise primária, que foram tanto maiores quanto maior a quantidade de coagulante empregada na fabricação do queijo.

A característica de derretimento é uma propriedade funcional importante e refere-se à facilidade e a extensão com

que o queijo poderá derreter quando aquecido<sup>8</sup>. Kindstedt (1993)<sup>9</sup> definiu o derretimento como sendo a capacidade que as partículas de queijo têm de coalescerem formando uma massa de queijo uniforme. A derretibilidade refere-se à habilidade da massa em derreter-se com relativa facilidade sobre a pizza, de maneira homogênea e sem formação exagerada de bolhas.

Vários fatores podem influenciar a capacidade de derretimento do queijo mussarela como umidade, teor de gordura, conteúdo de sal, quantidade de água livre e proteólise. O derretimento está diretamente ligado à mudança de fase que ocorre com o queijo quando este é submetido ao aquecimento e a gordura passa do estado sólido para líquido como resultado da aplicação de calor.

A capacidade de derretimento de queijos *light* apresenta-se mais baixa em relação à de um queijo integral, pois com a remoção da gordura, aumenta o teor de proteína e assim a matriz protéica se torna mais rígida e mais compacta, com menor tendência a derreter e fluir<sup>10</sup>.

Diante deste contexto, o objetivo desse trabalho foi empregar a metodologia de superfície resposta para avaliação da capacidade de derretimento, estabelecendo assim uma temperatura e um tempo ideal, para o queijo Mussarela *light*.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Preparo das amostras

Para essa análise, foi retirado um cilindro da parte central da peça com o auxílio de uma sonda de aço inox de 36 mm de diâmetro interno. O cilindro foi fracionado transversalmente com um fatiador de ovo modificado para se obterem cilindros de 6 mm de altura. As fatias das extremidades foram desprezadas.

Cada fatia foi colocada no centro de uma placa de Petri e após 30 minutos a temperatura ambiente, o diâmetro de cada cilindro foi medido. As amostras de queijo resultantes apresentaram diâmetro interno médio de 33 mm. As placas foram então levadas a uma estufa com circulação e renovação de ar (Tecnal TE-394/2) pela temperatura e tempo escolhidos e em seguida mantidas a temperatura ambiente durante 30 minutos.

### 2.2 Determinação da condição ótima Tempo x Temperatura

Para determinar a condição ótima de tempo/temperatura para o queijo Mussarela *light*, as amostras de uma mesma marca foram adquiridas no mercado com 30 dias de fabricação e avaliadas quanto à capacidade de derretimento (CD) em sextuplicata pelo teste de Schreiber, conforme descrito por Kosikowski e Mistry (1997)<sup>11</sup>.

O procedimento realizado para se obter a condição ideal de temperatura/tempo para a capacidade de derretimento seguiu um planejamento experimental fatorial completo do tipo 2<sup>2</sup>, com três pontos centrais e quatro axiais, totalizando 11 ensaios. A tabela 1 mostra os níveis utilizados para as variáveis independentes: temperatura (°C) e tempo (min). Os níveis escolhidos foram baseados no trabalho de Nonogaki, Monteiro e Gigante (2007)<sup>12</sup> e em testes preliminares.

Tabela 1 – Níveis codificados e não codificados das variáveis temperatura e tempo utilizados na capacidade de derretimento dos queijos mussarela *light*\*\*

Ensaios	Variáveis Codificadas *		Variáveis Originais	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Temperatura (°C)	Tempo (min)
1	0	-1,414	124	6,18
2	-1,414	0	100,03	9
3	0	0	124	9
4	0	+ 1,414	124	11,82
5	-1	-1	107	7
6	1	-1	141	7
7	+ 1,414	0	147,97	9
8	0	0	124	9
9	0	0	124	9
10	-1	1	107	11
11	1	1	141	11

\*A passagem do nível da variável codificada para a original é dada pelas seguintes equações:  $X_1 = (T - 124)/17$  e  $X_2 = (t - 9)/2$

As respostas para a capacidade de derretimento dos queijos foram analisadas utilizando o módulo *Experimental Design* do programa *Statistic for Windows* versão VI<sup>13</sup>.

## 3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos experimentalmente para o diâmetro derretido (cm) em cada ensaio realizado, resultantes da utilização dos diferentes tempos e temperaturas, podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Influência do binômio temperatura x tempo sobre a capacidade de derretimento dos queijos mussarela *light*

Trat.	Variáveis codificadas		Variáveis originais		Capacidade de derretimento
	Temper. (°C)	Tempo (min)	Temper. (°C)	Tempo (min)	
1	0	- 1,414	124	6,18	4,25
2	- 1,414	0	100,03	9	4,59
3	0	0	124	9	5,90
4	0	+ 1,414	124	11,82	4,99
5	-1	-1	107	7	4,57
6	1	-1	141	7	5,70
7	+ 1,414	0	147,97	9	5,79
8	0	0	124	9	5,90
9	0	0	124	9	5,95
10	-1	1	107	11	5,31
11	1	1	141	11	5,67

A análise de variância (ANOVA) foi realizada e verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ), utilizando – se o teste F, conforme tabela 3.

Para que uma regressão seja considerada útil para fins preditivos, o  $F_{\text{calculado}}$  deverá ser pelo menos, quatro a cinco vezes maior que o  $F_{\text{tabelado}}$ . Além disso, o F da falta de ajuste em relação

ao erro puro deve apresentar o menor valor possível e sempre menor que o F da falta de ajuste tabelado, pois, caso contrário, isso indica que os dados não estão bem ajustados ao modelo obtido<sup>14,15</sup>.

Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do diâmetro derretido (cm) do queijo mussarela *light*

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	R <sup>2</sup>
Regressão	3,87590	5	0,77518	129,24	4,35	0,9096
Resíduo	0,02999	5	0,00600			
Falta de ajuste	0,14823	3	0,00491	0,28	19,30	
Erro puro	0,35163	2	0,17581			
Total	3,90589	10				

SQ: Soma quadrática GL: Grau de liberdade MQ: Média quadrática

Observando-se a tabela 3, verifica-se que o valor F<sub>calculado</sub> da falta de ajuste foi menor que o F<sub>tabelado</sub>, revelando que os dados experimentais se ajustaram ao modelo obtido.

Através da análise de variância e do teste -F (Tabela 3) verificou-se que o modelo real foi validado, uma vez que o valor de F<sub>tabelado</sub> (4,35) foi menor que os valores de F<sub>calculado</sub> considerando-se o nível de 95% de significância. O coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) foi de 0,9096, indicando que o modelo explicou 90,96% da variação dos dados experimentais. O modelo pode ser considerado preditivo segundo Box e Wetz (1973)<sup>14</sup>, pois o F<sub>calculado</sub> da regressão foi 29 vezes maior que o F<sub>tabelado</sub>.

As variáveis lineares, quadráticas e suas interações duas a duas foram significativas a 95% de confiança e fizeram parte dos modelos para compor a superfície de resposta. A equação que gerou a superfície de resposta e curva de contorno da capacidade de derretimento é apresentada abaixo:

$$Y = 5,917 + 0,3984T - 0,2615T^2 + 0,2196t - 0,5465t^2 - 0,19525Tt \quad (1)$$

Em que:

Y = diâmetro derretido (cm)

T = temperatura (°C)

t = tempo (min)

A partir da equação 1 foi gerada a superfície de resposta conforme Figura 1.

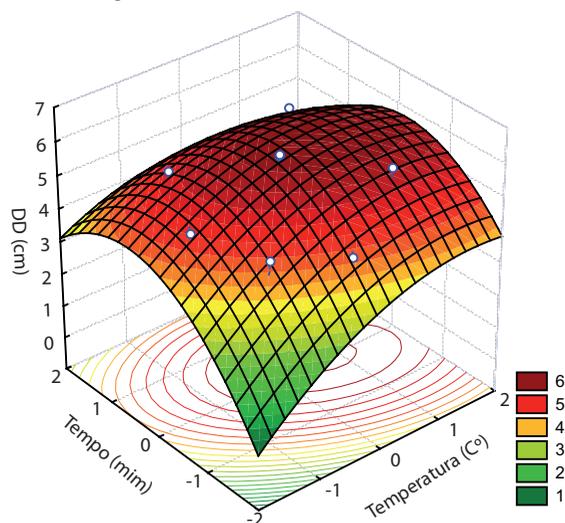


Figura 1 – Superfície de resposta da variação do diâmetro derretido (DD - cm) do queijo Mussarela *light*

Através da análise da superfície, observou-se que na região de máxima capacidade de derretimento, representada pela área mais escura e mais alta, pode-se trabalhar com diferentes combinações de tempo e temperatura para se avaliar o derretimento do queijo. Entretanto, os dados devem ser considerados juntamente com a aparência dos queijos após o derretimento, a qual indicou que o diâmetro dos queijos aumentou com o aumento da temperatura e/ou do tempo de exposição numa dada temperatura. Porém, nas mais altas temperaturas e nos mais longos tempos de exposição o queijo tendeu a fritar, demonstrando que a condição ótima de derretimento foi ultrapassada, apesar do maior diâmetro.

Os valores preditos do diâmetro derretido foram calculados e comparados aos valores experimentais. Desta forma, obteve-se os desvios relativos entre eles, sendo possível uma melhor visualização do ajuste do modelo. Os dados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Valores experimentais e preditos pelo modelo para o diâmetro derretido

Ensaio	Temperatura	Tempo	Experimental	Predito	Desvio relativo (%)
1	0	- 1,414	4,25	4,51	- 26,3
2	- 1,414	0	4,59	4,83	- 24,0
3	0	0	5,90	5,92	- 1,70
4	0	+ 1,414	4,99	5,13	- 14,4
5	-1	-1	4,57	4,30	27,2
6	1	-1	5,70	5,48	22,0
7	+ 1,414	0	5,79	5,96	- 16,7
8	0	0	5,90	5,92	- 1,70
9	0	0	5,95	5,92	3,30
10	-1	1	5,31	5,12	18,8
11	1	1	5,67	5,53	13,6

Baseados na capacidade de derretimento representada pelo diâmetro alcançado após o teste, no aspecto visual dos queijos (figura 2) e no desvio dos dados experimentais em relação ao modelo matemático (tabela 4) sugere-se que a melhor condição

de temperatura e tempo para avaliar a capacidade de derretimento do queijo mussarela *light* seja 124°C/9 minutos. Esta condição resultou em derretimento uniforme, formando uma aparência plástica, sem abertura na superfície ou queima do produto.

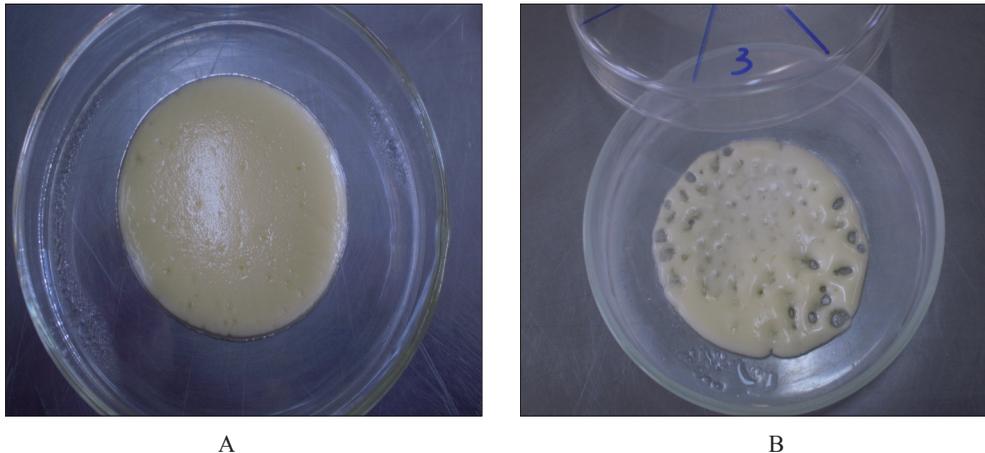


Figura 2 – Capacidade de derretimento do queijo Mussarela *light*.

(A). Queijo derretido na condição 124 °C/9 minutos; (B) Queijo derretido na condição 147,97°C/9 minutos

#### 4 Conclusões

Após o emprego da metodologia de superfície de resposta, a melhor condição encontrada para avaliar a capacidade de derretimento do queijo mussarela *light* foi de 124°C por 9 minutos.

#### Referências

1. Brandão SCC, Fontes ACL. Tendência na fabricação de lácteos light e diet. In: Tendências e avanços do agronegócio do leite nas Américas: mais leite = mais saúde. [S.l.]; [s.n.], [200-]. cap. 5. Disponível em: URL:<<http://www.fepale.org/lechesalud/documentos/5SebastiaoBrandao.pdf>> Acesso em: 23 out. 2008.
2. Valle JLE, Campos SDS, Yotsuyanagi K, Souza G. Influência do teor de gordura nas propriedades funcionais do queijo tipo Mozzarella. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*; 2004;24(4).
3. Ferreira DN. Influência do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento e na qualidade da mussarela de reduzido teor de gordura feita por acidificação direta. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2004.
4. Mistry VV, Anderson DL. Composition and microstructure of commercial full-fat and low-fat cheeses. *Food Structure*; 1993;12(2):259-266.
5. Kindstedt PS, Guo MR. Recent developments in the science and technology of pizza cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*. 1997;52(1):41-3.
6. Fox PF. Proteolysis during cheese manufacture and ripening. *Journal of Dairy Science*. 1989;72:1379-400.
7. Oliveira AN. Influência da concentração de quimosina na composição, rendimento, proteólise e propriedades funcionais do queijo mussarela feito por acidificação direta; 2001.
8. Gunasekaran, S, Mehmet AKM. Cheese rheology and texture. Boca Raton: CRC Press, 2003. 437p.
9. Kindstedt PS. Effect of manufacturing factors, composition and proteolysis on the functional characteristics of mozzarella cheese. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1993;33(2):167-87.
10. Fox PF, Guine TP, Cogan TM, MCSweeney PLH. *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg: Aspen; 1998.
11. Kosikowski FV, Mistry VV. *Cheese and fermented milk foods*. Westport: AVI; 1997.
12. Nonogaki CO, Monteiro VS, Gigante ML. Metodologia para Avaliar a Capacidade de Derretimento de Queijo Prato. *Braz. J. Food Technol*; 2007;10(1): 71-77.
13. Statsoft, INC. *STATISTICA for Windows* [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc, StatSoft, Inc., 2001.
14. Box, GEP; Wetz, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. University of Wisconsin technical report, n. 9, 1973.
15. Clareto SS. Estudo da concentração de licopeno da polpa de goiaba utilizando o processo de microfiltração. Campinas: UNICAMP; 2007.