

2301094

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto Mecânico

Título: Evaporação de Leite

Autor: Eduardo Pereira de Magalhães

Orientador: Euryale Godoy de Jesus Zerbini

*to
jorge*

Ano: 1984

Agradecimentos pela ajuda prestada no
decorrer do trabalho ã:

Engenheiro Omar Fontana do Reis (E.P.U.S.P.)

Professor Mauricio Torloni
(Depto. Engenharia Química da E.P.U.S.P.)

I N D I C E

CAPÍTULO	TÍTULO
1	Propriedades do Leite em Pó
2	Instalações para lidar com leite
3	Leite bruto
4	Pasteurização do leite
5	Fluxograma do processo
5.1	Equipamentos necessários
6	Estudo de um evaporador
6.1	Tipos de evaporador e escolha
6.2	Metodologia de cálculo de um evaporador
6.3	Viscosidade - Experiências
6.4	Estimativa preliminar de U
7	Análise de um único evaporador
8	Balanco de massa e energia do condensador
9	Evaporadores de múltiplo efeito
9.1	Cálculo de um conjunto de 4 efeitos
10	Elaboração do programa em basic
11	Listagem do programa
12	Resultados do programa

S U M Á R I O

Quando iniciei este trabalho eu pretendia fazer um cálculo de uma instalação completa para a fabricação de leite em pó. Porém no decorrer do trabalho me deparei com alguma dificuldades que me fizeram mudar os objetivos iniciais.

Assim este trabalho inicia dando uma idéia sobre as propriedades físicas e químicas do leite em pó e também do leite em bruto.

Isto é necessário para que possamos fixar as condições de operação dos equipamentos.

Numa segunda parte pretendi dar uma idéia global dos equipamentos que compõe uma fábrica de leite em pó , e dos processos envolvidos na fabricação.

Em seguida passei ao objetivo principal deste trabalho que foi o cálculo dos evaporadores. Nesta etapa realizei experiências para medir a viscosidade do leite, colhi dados práticos junto aos fabricantes, etc..

Com todos os dados necessários em mãos passei aos cálculos e foi aí que percebi a necessidade de se fazer um programa de computador para facilitar o cálculo e permitir "jogar" com diferentes condições de entrada e verificar as condições de saída e de operação da instalação.

1. PROPRIEDADES DO LEITE EM PÓ

. LACTOSE:

A porcentagem de lactose varia de 7,5% no soro em pó a 12% no creme em pó. A lactose, no leite em pó, deve estar no estado - amorfo ou vitrificado (não cristalino) e como cristal monohidrato ou anidrido. Imediatamente após a secagem a lactose - está na forma amorfa.

. ABSORÇÃO DA UMIDADE:

A lactose no estado amorfo é considerada uma solução supersaturada com baixa pressão de vapor e bastante alta pressão aromática. É bastante higroscópica. A absorção da água começa quando a umidade relativa é aproximadamente 50%.

Com a absorção da água as partículas começam a "grudar" umas - nas outras e formam pequenas "bolinhas". Com o tempo forma-se uma massa compacta com a cristalização da lactose.

. CRISTALIZAÇÃO:

Cristais de lactose são geralmente hidratos pois os hidratos se transformam em com temperaturas abaixo de 140°C . A lactose não se cristaliza se o leite em pó estiver com menos - de 5% de umidade. A cristalização nas formas e inicia a 7% de umidade. A 7,6% de umidade a cristalização ocorre em 100 dias a 20°C , 10 dias a 28°C e 1 dia a 37°C .

. PROTEÍNA:

A proteína varia de 38% no leite desnatado em pó a 8% no creme em pó.

. AÇÃO DO CALOR:

O tratamento térmico (temperatura e tempo) desnaturam as proteínas quanto mais severo. Wright identificou duas causas de desestabilização: a) devido a aplicação de calor ao leite no estado - líquido e resultando na coagulação das proteínas do leite, particularmente , a caseína ; b) desestabilização da proteína em leite seco devido a liberação de calor associado à água contida - na caseína.

As misturas da caseína ficam não dispersíveis quanto maior for o teor de sólidos do leite.

cont....

Tempo para produzir 50% de insolubilidade à 100°C.

<u>Sólidos totais %</u>		<u>Tempo de Aquecimento</u>
8		7,5h
18		2h
28		33 mín.
38		8 mín.
48		2 mín.
58		31 seg.
68		8 seg.
78		2 seg.
88		0,4 seg.

. GORDURA

O conteúdo de gordura varia de 0,5% em soro seco à 75% em creme seco. Leite em pó integral terá 26 à 28% e desnatado 1% de - gordura. A gordura pode estar na forma livre ou coberta por uma camada de natureza proteica. A gordura livre contribui para a - rancidez.

. GORDURA EM LEITE EM PÓ PRODUZIDO EM "SPRAY DRYER"

Com a homogenização os pequenos globulos ficam uniformemente - distribuidos. Erros no processo de secagem ou armazenagem aumentarão o conteúdo de gordura livre. Esta gordura tende a envolver as bolhas de ar ou depositar na face externa das partículas. O tamanho dos globulos dependerá da eficiência do processo de homogenização, ficando normalmente entre 0,2 e 3 de diâmetro.

Estudos de "Reinke" indicaram que a gordura livre em leite em pó integral poderiam ser reduzidas através de:

- abaixando a temperatura e/ou tempo de pré aquecimento;
- usando leite integral ao invés de leite desnatado misturado à óleo de manteiga;
- diminuindo o tratamento térmico do condensado;
- usando um orifício mais largo à uma pressão menor (1000 psi) - no spray dryer;
- homogenizando severamente o leite condensado.

Excessiva agitação do leite quente resultará mais gordura livre.

(Vide fig. 1)

Gordura livre causa oxidação, especialmente as gordura aderidas à superfície.

cont.....

. GASES NO LEITE EM PÓ

Os gases contidos no leite em pó são nitrogênio, oxigênio e dióxido de carbono.

Leite em pó com alto conteúdo de ar terá partículas que serão grandes bolhas de ar cobertas por uma camada de sólidos

Dependendo do sistema de spray de 25 a 75% das partículas irão conter bolhas de ar.

O leite imediatamente após a secagem possui menor conteúdo de ar.

A quantidade de ar pode ser calculada por:

$$\text{Volume de partículas} - \frac{1}{\text{densidade}}$$

O leite em pó absorve grandes quantidades de ar se as condições forem favoráveis.

. UMIDADE

A umidade varia de 3 a 4% para leite em pó desnatado e 2 a 3% para o leite integral.

As mudanças químicas devido à umidade elevada são: aumento da insolubilidade das proteínas, acidez, dióxido de carbono e substâncias fluorescentes.

Baixa umidade (abaixo de 2%) no leite em pó integral pode acelerar livremente a oxidação em comparação à 3%. Entre os componentes sólidos do leite, a lactose e proteínas são os que tem o maior efeito no equilíbrio da umidade. Salis em solução podem diminuir a pressão do vapor por efeito, osmótico.

. DENSIDADE

A densidade afeta diretamente a recuperação de partículas de leite no ciclone contribuindo na quantidade de partículas que são carregadas pelo ar no secador, no peneiramento e no empacotamento.

A densidade é medida em gm por ml, sendo que a amostra deve ser ensacada e sibrada até que mantenha volume constante.

. FATORES QUE AFETAM A DENSIDADE

A densidade normal do leite em pó desnatado secado em spray - dryer é de 0,5 a 0,6 gm por ml.

Leite em pó seco por sprays rotativos tem uma densidade um pouco mais baixa que o spray de pressão.

CONT:.....

Um meio de aumentar a densidade é diminuir o conteúdo de ar após a secagem. Aumentando os sólidos totais do concentrado, reduzindo a pressão no spray, e utilizando um orifício mais largo aumenta a densidade. Aumentando a temperatura do ar de entrada acima de 220°C diminui-se a densidade.

. DENSIDADE DA PARTICULA OU DENSIDADE REAL

Leite em pó secado por spray centrífugo tem maior conteúdo de ar do que o seco em spray de pressão.

Um meio de aumentar a densidade é diminuir o conteúdo de ar após secagem. Aumentando os sólidos totais do concentrado, reduzindo a pressão no spray, e utilizando um orifício mais largo aumenta a densidade. Aumentando a temperatura do ar de entrada acima de 220°C diminui-se a densidade.

. DENSIDADE DA PARTICULA OU DENSIDADE REAL:

Leite em pó secado por spray centrífugo tem maior conteúdo de ar do que o seco em spray de pressão.

A densidade real referida ao teor de sólidos é calculada por:

$$\text{Densidade} = \frac{110}{\frac{\% \text{ gordura}}{0,93} + \frac{\% \text{ SNF}}{1,6} + \frac{\% \text{ água}}{1,0}}$$

onde SNF são os sólidos não gordurosos

A densidade real do leite em pó desnatado está entre 1,44 a 1,48 gm/ml e o leite integral de 1,26 a 1,32.

Certos aditivos como silicato de sódio e alumínio e silicato de cálcio aumentarão a densidade.

. ESCOAMENTO

Podemos distinguir dois tipos de escoamento:

- Um é o movimento independente de uma partícula, o outro é o movimento em grupo. Leite desnatado tem característica de principalmente escoamento de partícula, já o leite em pó integral apresenta o escoamento em grupo.

Algumas características que determinam o grau de escoabilidade são: tamanho da partícula, forma, densidade e carga eletrostática. Grandes partículas escoam melhor, portanto aglomeração é benéfica.

Gordura tende a diminuir a escoabilidade.

Pode-se usar alguns aditivos para melhorar a escoabilidade. Solicato de cálcio numa porcentagem de 1,5% antes ou depois da secagem é benéfico.

Outros componentes podem ser: dióxido de silicone amorfo, trifosfato de cálcio, óxido de alumínio e óxido de magnésio.

cont.....

. EFEITOS DO TRATAMENTO TÈRMICO

Sabor:

O tratamento tÈrmico necessÀrio para assegurar boa qualidade de cozimento no leite desnatado e produçÀo de anti-oxidantes no leite integral.

O sabor de cozido ou caramelado estÀ associado À liberaçÀo de compostos sulfidrÌcos da B-lactoglobubina.

Uma diminuiçÀo no pH e aumento no conteÙdo de gordura e durante o aquecimento estÀo diretamente correlacionados com o dsbor de cozido.

A tabela seguinte nos dÀ o sabor e o escurecimento em funçÀo do tempo de tratamento À 95°C

<u>Tempo de exposiçÀo</u> <u>mìn.</u>	<u>Sabor</u>	<u>Escurecimento</u> <u>(de 0 À 4)</u>
0	cozido	0
5	"	0
15	"	0
30	"	0
60	caramelado	0
90	" "	1
120	" "	1
150	" "	2
180	" "	3
210	" "	4

2. INSTALAÇÕES PARA LIDAR COM LEITE

. Qualidade do leite bruto

Quando o leite chega à fábrica deve estar à uma temperatura de aproximadamente 7 à 10°C. O leite deve estar limpo, livre de sabores e odores estranhos, e isento de materiais estranhos. Não deve estar contaminado por antibióticos, pesticidas e resíduos de metais.

Deve ser observada também a acidez do leite que indicará o desenvolvimento de bactérias. Leite com alta acidez deve ser excluído do processo.

. Equipamentos de aço inoxidável

O uso de aço inoxidável irá minimizar a contaminação metálica e facilitar a limpeza. Todas as superfícies do equipamento e tubulação em contato com leite e material de limpeza devem ser construídos em aço inoxidável, vidro ou material plástico. Deve-se evitar especialmente a presença de cobre. Os íons metálicos catalizam a oxidação da gordura reduzindo o tempo de prateleira do produto.

. Transporte do leite

O leite deve ser retido o menor tempo possível antes de pasteurizado e processado. Durante a estocagem na fábrica uma temperatura abaixo de 7°C minimizam as mudanças microbiológicas..

Os processos de pré-aquecimento, concentração e secagem devem incluir um mínimo de recirculação.

Demonstram-se mudanças no sabor havendo de 4 a 5 pontos de recirculação.

Excessivo aquecimento causa denaturação da caseína.

. Microorganismos

O crescimento de microorganismos pode se dar durante a estocagem e o processamento do leite.

Bactérias acidulentas, como o *Streptococcus lactis*, se desenvolvem bem entre 21°C e 35°C. Bactérias termofílicas a temperaturas de 46°C à 63°C.

Espécies de *Staphilococcus* se desenvolvem bem de 32°C à 46°C.

. Conservação da qualidade do leite em pó

Os fatores mais importantes na conservação são:

conteúdo de gordura, porcentagem de umidade e temperatura de estocagem. No leite em pó desnatado o conteúdo de gordura deve ficar abaixo de 1,25%, isto é obtido com uma separação adequada do leite.

cont.....

3. LEITE BRUTO

I - CARACTERÍSTICAS

densidade à 15°C	1,03 --- 1,034 g/cm ³
Calor específico	0,93 cal/g°C
ponto de congelação.....	- 0,55°C
pH	6,5 / 6,6
acidez (°D"grau Dornic)....	16 / 20
viscosidade à 10°C.....	2 cp
índice de refração	1,35

II- COMPOSIÇÃO

em g/100 ml

água	87,3
proteína	3,4
gordura	3,8
açúcar	4,8
cinza.....	0,7

III-TEOR DE GORDURA

Leite padronizado	3%
Leite integral	3,5%
Leite desnatado	≤ 0,2%
Leite especial	2 %

IV- DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ

A acidez do leite é medida em graus Dornic (°D)
Por definição o grau Dornic é:

$$o_D = \frac{0,1g \text{ de ácido láctico}}{1 \text{ litro de leite}}$$

para fazer a neutralização usa-se cada Dornic (NaOH) 1/9 normal.

O leite estará bem na faixa de 16 à 20°D.

O teor de gordura pode ser medido por crioscopia: o ponto de solidificação do leite é de 0,54 à 0,56. Para cada 2% de gordura adicionada a temperatura de solidificação cresce 0,01°C.

TRATAMENTO DO LEITE

O leite é recebido em postos de resfriamento onde é resfriado à 3 à 5°C (Vide fig. 4).

Chegando à fábrica o leite é tratado termicamente e padronizado, isto é, deixa-se o leite com o teor de gordura desejado. (vide fig.5)

cont..

A padronizadora é uma centrífuga contínua utilizada para retirar gordura do leite.

Vamos introduzir agora o conceito de grau de regeneração. Este conceito é importante no tratamento de trocadores de calor de placas.

O grau de regeneração é a % de calor economizado na seção de regeneração.

$$R = \frac{Q_e}{Q_t} \times 100 \quad \text{onde } R \text{ é o grau de regeneração}$$

Q_e é o calor economizado
 Q_t é a quantidade de calor cedida

Vide fig. 6

$$Q_t = VC (T_c - T_a) \quad \text{onde } V \text{ é a vazão do leite}$$

$$Q_e = VC (T_b - T_a) \quad C \text{ é o calor específico}$$

$$R = \frac{(T_b - T_a)}{(T_c - T_a)} \times 100 = \frac{T_b - T_a}{T_c - T_a} \times 100 = \frac{T_c - T_d}{T_c - T_a} \times 100$$

O grau de regeneração aumenta com o aumento do número de placas

R %	nº de placas
50	N
80	4N
90	9N

Dependendo da quantidade de leite a ser tratada existe um R ótimo

Capacidade	R ótimo	Leite Tratado
5000 l/h	70%	5000 l/dia
5000 l/h	85%	15000 l/dia

PADRONIZAÇÃO DO LEITE

O leite vem de várias fontes e conseqüentemente com variados teores de gordura; é necessário portanto fazer-se uma padronização antes do processamento.

ANÁLISE DO PRODUTO FINAL

$$\begin{aligned} \% \text{ de gordura sobre matéria seca} &= d\% \\ \% \text{ de umidade sobre matéria seca} &= f\% \\ \text{matéria seca} &= 100 - f\% \end{aligned}$$

Análise do leite

$$\text{proteínas} = b\%$$

$$\text{Sólidos no soro} = c\%$$

Suponhamos que 9% da gordura e 90% da proteína não estar no produto final

Portanto, para 100g de produto final teremos:

$$\text{matéria seca} = (100 - f) \text{ gramas}$$

$$\text{gordura} = \frac{(100 - f)}{100} \times d \text{ gramas}$$

$$\text{caseína} = \frac{0,9 b}{100} m \text{ gramas}$$

$$\text{sólidos no soro} = \frac{C \times f}{100} \times \text{gramas}$$

assim,

$$(100 - f) = \frac{d(100-f)}{100} + \frac{0,9 b m}{100} + \frac{C f}{100}$$

onde m é a massa de leite necessária para produzir 100g de produto final.

$$\therefore m = \frac{10000 - 100f - cf - 100d + df}{0,9b}$$

Temos ainda o teor de gordura necessário:

$$g = \frac{d(100 - f)}{0,9m}$$

Se este teor de gordura for maior que o que temos no leite, devemos adicionar gordura, senão devemos retirar:

seja md = leite disponível

mt = leite com teor de gordura desejado

mc = massa de creme

g = % de gordura desejada no leite

Pc = % de gordura no creme de leite

Pl = % de gordura no leite disponível

Quando $g < Pl$ usa-se uma centrífuga para retirar a gordura (não-se usa altas temperaturas):

assim:

$$mt = mc + md$$

$$mt - g = mc Pc + Md Pl$$

Assim determinaremos a quantidade de creme de leite(gordura) a ser adicionada ou retirada de modo a obtermos o leite com o teor de gordura desejado para o processo.

CONCENTRAÇÃO % =====	TEMPERATURA °C =====	VISCOSIDADE (Lbm/ft.hr) =====
10	30	5,7
10	40	4,05
10	50	2,9
10	60	2,65
20	30	9,4
20	40	6,8
20	50	5,4
20	60	4,2
30	40	15
30	50	12,2
30	60	9,1
30	70	8,0
40	50	23,8
40	60	19,1
40	70	17,2
48	50	36,5
48	60	32,0
48	70	28,7
água	30	0,35
	40	0,29
	50	0,25
	60	0,21
	70	0,19

