

## Simulação de Planta de Esterilização de leite integral Tipo UHT Através do Aspen plus.

<sup>1, \*</sup> Thafarely Bismarck da Silva Melo, <sup>1</sup> Brenda Natália Vieira Marcolino

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns, Brasil.

\* yllerafaht@hotmail.com

**Resumo:** O processo de esterilização do leite tem como objetivo diminuir ou extinguir a carga microbiana presente no alimento com a finalidade de reduzir possíveis deteriorações advindas dos processos metabólicos dos microrganismos que estariam presentes no alimento. O sistema utilizado atualmente nas plantas de beneficiamento de leite tem como princípio a injeção direta de vapor supersaturado em certo volume de leite de modo que se estabeleça a redução microbiológica, depois o produto é dirigido para um tanque de evaporação flash onde o vapor condensado é retirado, depois o produto parte para o homogeneizador onde as moléculas de gordura são quebradas tornando o produto padronizado. Em todo este processo é utilizado um sistema denominado de VTIS (Vacum Therm Instant Steriliser) desenvolvido pela empresa Tetra Pak que consiste em um equipamento voltado para a esterilização de alimentos líquidos. O modelo computacional utilizou a plataforma programável do Aspen plus que por meio de operações unitárias permite prever o comportamento de um processo, esta permite variar de maneira interativa alguns elementos do processo com a finalidade de obter resultados desejados através dos flowsheets, das composições da alimentação e das condições operatórias. O ASPEN plus permite a realização da análise de sensibilidade, geração de gráficos e tabelas, estimação e regressão de propriedades físico-químicas, ajustes de modelos de simulação a dados operatórios, dimensionamento de equipamentos, análise de custos e introdução de dados em folhas de cálculos. Como resultado se observou a possibilidade de se reproduzir um processo sem a necessidade de custos.

**Palavras-chaves:** Simulação computacional, Leite Integral UHT, Aspen Plus, Engenharia de Processos

***Sterilization Plant simulation of whole milk UHT Type through the Aspen plus:*** The milk sterilization process aims to diminish or extinguish the microbial load present in the food in order to reduce possible damage arising of the metabolic processes of microorganisms that might be present in food. The system currently used in milk processing plants have direct injection principle oversaturated steam in a certain volume of milk in order to establish microbiological reduction, then the product is directed to a tank where flash evaporation condensed the steam is taken off after the product part to the homogenizer where fat molecules are broken making the standardized product. In this whole process is used a system called VTIS (Vacum Therm Instant Steriliser) developed by Tetra Pak company that consists of a piece of equipment back to the sterilization of liquid foods. The computational model used the Aspen plus programmable plataform that by means of unit operations allows you to predict the behavior of a process, this plataform lets you interactively vary some elements of the process in order to obtain desired results through the flowsheets of feed compositions and operating conditions. The ASPEN plus enables the realization of sensitivity analysis, generation of graphs and tables, estimation, regression of physic-chemical properties, settings of simulation models the operative data, equipment sizing, cost analysis, and data input sheets of calculations. As a result was able to reproduce a process without the need for costs.

**Keywords:** Computer simulation, UHT Whole Milk, ASPEN Plus, Process Engineering.

Recebido: 22 de Abril de 2015; aceito: 06 de Novembro de 2015, publicado: 11 de Dezembro de 2015.

DOI: 10.14685/rebrapa.v6i2.3490

## INTRODUÇÃO

O leite consiste em uma combinação de vários elementos sólidos em água, os quais representam aproximadamente 13% da mistura onde cerca de 87% é de água. Os principais elementos sólidos do leite são lipídios em torno de 3,9%, carboidratos, lactose, 4,6%, proteínas formadas pelas caseínas e proteínas do soro 3,25%, sais minerais e vitaminas 1%. Nestes elementos as suas distribuições e interações são determinantes para a estrutura, propriedades funcionais e aptidão do leite para processamento. A composição do leite é decisiva para a afirmação da sua qualidade nutricional e conformação, para beneficiamento e consumo humano (SILVA, 1997).

O leite por se tratar de um ótimo substrato possui elevada carga de microrganismos mesófilos, psicrotóxicos e termófilos, os quais através dos seus desenvolvimentos degradam constituintes ou acabam produzindo substâncias capazes de alterar as propriedades físico-químicas, importantes na manutenção do produto (MARTINS. et al., 2008). Dessa forma é importante que o leite seja submetido a rigorosos tratamentos térmicos possibilitando a eliminação ou redução destes microrganismos. Existem dois tipos principais de tratamentos térmicos, são eles a pasteurização e a esterilização UHT (Ultra High Temperature).

As vantagens existentes entre o processamento UHT e a pasteurização decorrem das diferenças nos parâmetros que definem morte dos microrganismos pela ação do calor e as mudanças químicas existentes. No processamento UHT estas mudanças ocorrem de forma pouco perceptíveis (ORDÓNEZ, 2005).

Leite Pasteurizado consiste no leite fluido obtido a partir do Leite Cru Refrigerado na propriedade rural, que apresente os padrões e especificações de produção, de coleta e de atributo dessa matéria-prima apresentadas em Regulamento Técnico próprio e que tenha sido conduzido a granel até o estabelecimento processador (BRASIL, 2002). O leite UHT ou UAT (Ultra Alta Temperatura), também conhecido como leite longa vida, consiste no leite submetido a temperaturas em torno de 130

e 150°C, durante 2 a 4 segundos, mediante processo térmico em que compreende, o fluxo contínuo, imediatamente ao aquecimento o produto é submetido a um resfriamento que atinge temperaturas inferiores a 32°C acompanhada de envase em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas (GUERRA; RIBEIRO, 2012). Existem dois métodos utilizados para esterilização de alimentos líquidos, por injeção de vapor pressurizado em produto ou por injeção de produto em vapor também chamado de infusão. Ambos os sistemas funcionam no princípio de que, como o vapor entra em contato com o produto irá condensar e dar um pouco de calor latente contribuindo para que o produto aqueça muito rapidamente (RICHARDSON, 2000).

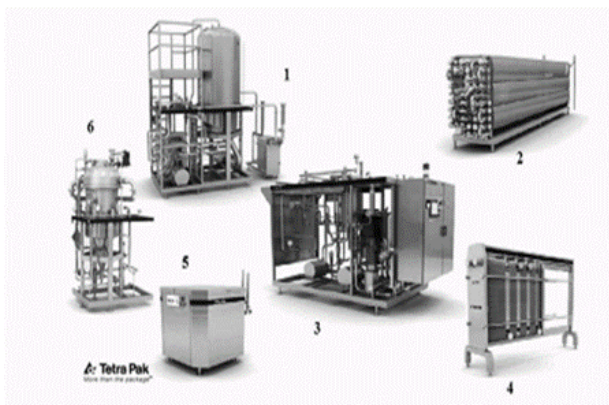
Com o intuito de atender aos requisitos impostos pelo consumidor e pela legislação, os produtores a cada dia vêm aperfeiçoando seus sistemas de produção com instalação de sistemas mais eficientes e econômicos. Em se tratando da produção de leite longa vida, existem dois processos de esterilização, o primeiro direto que consiste na injeção direta de vapor no produto e o segundo indireto que ocorre através do aquecimento em trocadores de calor de placas (ORDÓNEZ, 2005).

O processo de esterilização direto ocorre seguindo alguns passos fundamentais são eles: primeiro o produto chega a indústria e segue para padronização que deverá atender a legislação através de características como, apresentar atributos visuais normais, teor mínimo de 3% de gordura, acidez em graus Dornic em torno de 15 a 20, densidade a 15°C em torno de 1028 e 1033 g/l, teor de lactose em torno de 4,3, índice crioscópico mínimo de -0,550, extrato seco total mínimo de 11,5% e desengordurado em torno de 8,5% (BRASIL, 1952); em seguida o leite é pasteurizado e armazenado e encaminhado para a esterilização que ocorre através da injeção de vapor a 145°C com futura retirada do volume inserido no produto através do tanque de vácuo, depois a homogeneização e em último estágio segue para envase em embalagens assépticas (TETRA PAK, 2006).

O equipamento utilizado na indústria na Figura 1 é constituído por seis módulos básicos: (1)

câmara de expansão, (2) permutador de calor do que inclui o sistema de pré-aquecimento e arrefecedor asséptico, arrefecedor asséptico final, (3) Estrutura principal com os armários de controle e potência, tanque de balanço, (4) arrefecedor em diversão, bombas, válvulas, (5) homogeneizador asséptico, (6) injetor de vapor, instrumentação e tubagem e tanques de detergente concentrado.

O conceito de simulação pode ser descrito como uma experiência de replicar ou transcrever naturezas do comportamento de um sistema, real ou sendo projetado, por meio da constituição de um modelo matemático desenvolvido em um computador (VIEIRA, 2006). A simulação de processos admite prever o comportamento de um processo usando relações básicas de engenharia, tais como balanços de massa e energia e fase e equilíbrio químico (ASPEN PLUS, 2010).



**Figura 1:** Sistema VTIS (Fonte: Tetra Pak)

## MATERIAIS E MÉTODOS

### O ASPEN Plus

O processo de simulação foi construído por meio da plataforma ASPEN Plus, que é o principal simulador de processos químicos disponível no mercado. O qual foi elaborado pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) para o departamento de energia dos Estados Unidos no início da década de 80. O programa possui bibliotecas de blocos de operações unitárias.

A simulação de um processo é realizada por meio da combinação desses blocos e os devidos pacotes termodinâmicos armazenados em seu banco de dados. Esta plataforma ainda permite realizar cálculos de balanço de massa, de energia além de equações de equilíbrio em uma só operação, ainda possui blocos de FORTRAN que permitem unir várias operações unitárias (IGLESIAS, 2009).

### Componentes químicos

O principal componente presente, o leite, que é constituído por água e os sólidos totais (ST). Os sólidos totais são constituídos de proteínas, gordura, lipídios, lactose e sais. Os quais são divididos em lipídeos (gorduras) e sólidos não gordurosos (SNG - proteínas, lactoses e cinzas) (VENTURINI; SARCINELLI; SILVA, 2006). A composição básica do leite é representada conforme segue a Tabela 1.

**Tabela 1:** Composição geral do leite.

Constituintes	Teor em porcentagem
Água	87,25
Lactose	4,7
Gordura	3,5
Proteínas	3,5
Minerais	0,75
Outros	0,3

Para a elaboração do modelo se utilizou os seguintes componentes vistos na Tabela 2, com ênfase para a gordura que foi adotado quatro tipos de ácidos orgânicos como gorduras e as proteínas onde se considerou a molécula nitrogenada  $N_2H^+$ .

O tipo convencional indica que a substância muda de estado físico de acordo com o modelo termodinâmico usado na simulação (IGLESIAS, 2009).

**Tabela 2:** Composição criada no ASPEN plus.

Substância	Tipo	Formula
Água	Convencional	H <sub>2</sub> O
Sacarose	Convencional	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>
Ácido Mirístico	Convencional	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>
Ácido Palmítico	Convencional	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
Ácido Esteárico	Convencional	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>
Ácido Oleico	Convencional	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>
Dióxido de carbono	Convencional	CO <sub>2</sub>
Cloro	Convencional	Cl <sup>-</sup>
Potássio	Convencional	K <sup>+</sup>
Sódio	Convencional	Na <sup>+</sup>
Cálcio	Convencional	Ca <sup>+2</sup>
Magnésio	Convencional	Mg <sup>+2</sup>
Proteína	Convencional	N <sub>2</sub> H <sup>+5</sup>

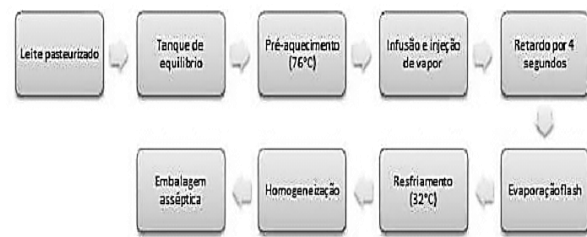
### Modelo Termodinâmico

As propriedades dos elementos químicos considerados na simulação foram avaliadas através do modelo IDEAL o qual considera todos os gases envolvidos no processo como reais. Para outros pacotes termodinâmicos a resposta não foi satisfatória tendo em vista que para modelos como STEAM NBS, o qual seria mais recomendado devido à presença excessiva de vapores, o processo no tanque flash permitiu perdas acentuadas em diversos componentes como a gordura e lactose.

### Fluxograma do Processo

A construção da simulação teve como princípio a planta de esterilização UHT da usina de beneficiamento de leite, Laticínios Bom Gosto S.A., situada na cidade de Garanhuns-PE. Esta planta opera com capacidade de 19000 litros por hora, podendo ser regulada frente à necessidade da empresa, mas nunca excedendo sua competência de operação. É apresentado um fluxograma na Figura 2, esboçando o processo

de maneira simplificada, com o intuito de mostrar as suas etapas de forma sucinta.



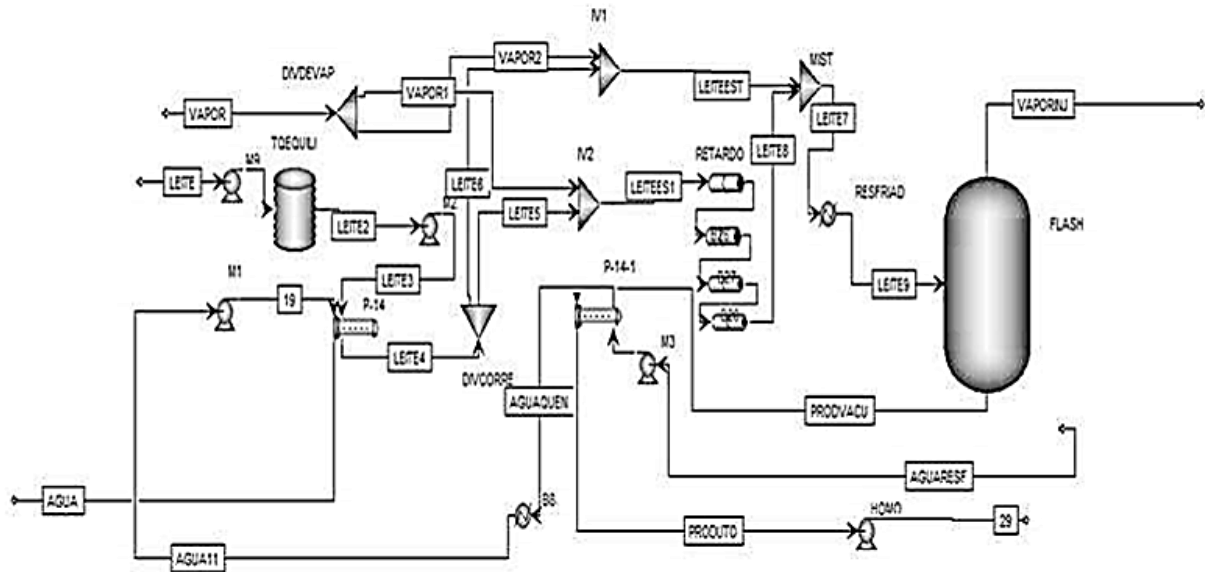
**Figura 2:** Fluxograma de Produção do leite UHT.

A seguir é apresentado o esquema de simulação, Figura 3, construído no Aspen plus, observa-se que o leite pasteurizado entra na linha seguindo para o tanque de equilíbrio onde é encaminhado por meio da bomba M2 para o aquecedor P-14 e é encaminhado para o divisor de corrente onde são divididas as frações iguais a 0,6 e 0,4 para as linha leite6 e leite5 respectivamente, depois é injetado vapor saturado nos misturadores IV1 e IV2, com o objetivo de atingir 145°C no leite, porém o produto apresenta certa quantidade de água que deverá ser retirada através do tanque flash, em seguida o produto é conduzido para o resfriador P-14-1 para ser resfriado e direcionado ao homogeneizador que está representado pela bomba homo.

Em cada bloco foram especificados os parâmetros de funcionamento tomando como base as características do equipamento real. Dessa forma se construiu uma simulação mais próxima da realidade com o intuito de obter resultados satisfatórios com relação ao método.

### Algoritmo de solução

Os simuladores utilizam uma composição de métodos para resolver problemas, contudo neste processo se utilizou somente o método de Wegstein que consiste no método normalmente utilizado pelos simuladores para os cálculos de balanço de massa e energia. Este método é uma extrapolação do método das substituições diretas, no qual a introdução de um parâmetro adicional permite rápida convergência, no entanto as interações entre as variáveis são desconsideradas (IGLESIAS, 2009).



**Figura 3:** Planta construída no ASPEN plus

### Simulação

O estudo ocorreu no laboratório de informática do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco em Recife-PE, foi simulado o equipamento que opera com capacidades em torno de 12000 e 19000 litros de leite por hora, com injeção direta de vapor saturado a uma pressão de 6 bar onde após a injeção e infusão de vapor o produto deverá permanecer dentro do equipamento durante 4 segundos. Esse tempo é alcançado graças a um retardo formado por uma tubulação de oito metros de comprimento com um diâmetro de duas polegadas. E em seguida vai para o flash e posteriormente resfriamento e homogeneização. Usando esta metodologia foi construído o sistema no simulador com essas características, onde foram definidos os componentes depois a inserção dos blocos e posteriormente aplicação do modelo termodinâmico utilizado no processo.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

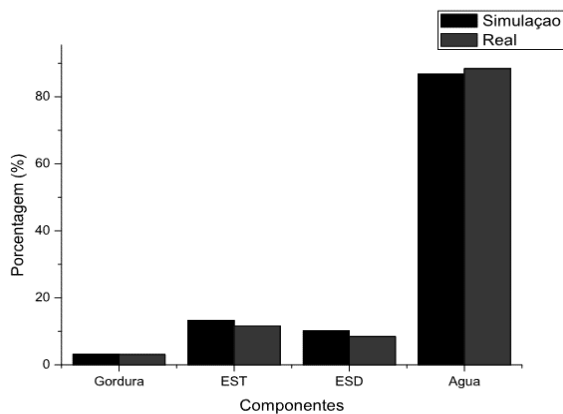
#### Validação do modelo

A validação do modelo foi realizada, tomando como base o percentual de gordura, extrato seco total (EST) e água do produto final, para observar a demonstração dessas variações observe o gráfico, na Figura 4, que mostra as composições percentuais de forma comparativa entre os dois processos. Observe que os valores de gordura são quase iguais, já para o EST, ESD (Extrato Seco Desengordurado) e a água os percentuais variam pouco, para ser mais exato observe a Tabela 3 que segue com os valores encontrados para cada componente e seus erros respectivos. Os dados mostram que o simulador se comportou de forma aceitável frente às composições percentuais do produto, pois apresentou erros percentuais muito pequenos.

No que diz respeito ao processo propriamente dito, na entrada do retardo a temperatura no simulador marcou os 143,3°C enquanto no processo real marcou 142,6°C o processo neste ponto apresentou um erro de 0,7°C.

**Tabela 3:** Composições percentuais do leite no processo de simulação real e seus erros.

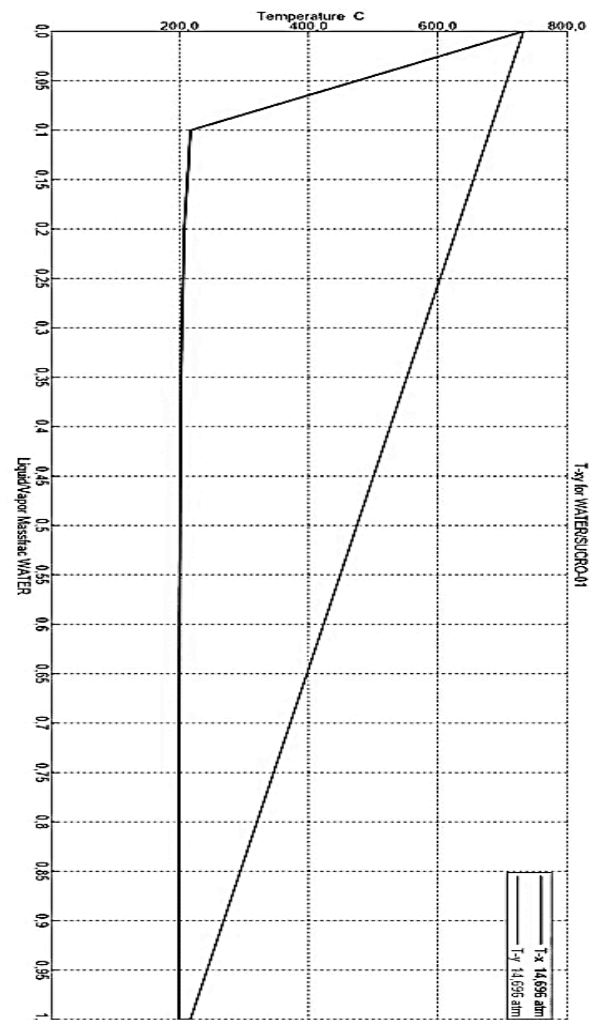
Componentes	% simulação	% processo real	Erro %(%simulação - %processo real)
Gordura	3,16	3,10	0,06
EST	13,31	11,60	1,71
ESD	10,15	8,5	1,65
Água	86,69	88,4	1,71

**Figura 4:** Gráfico comparativo entre a simulação e o processo real.

A temperatura na saída do flash simulado atingiu 87°C já no processo real atingiu 81°C apresentando um erro de 6°C. O módulo de infusão e injeção de vapor no processo real não especifica a quantidade de vapor que entra na linha, no entanto para que se atingisse a temperatura de 145 °C no simulador foram necessários 150000 kg/h de vapor saturado a 15°C a uma pressão de 6 bar, onde esta pressão atendeu aos parâmetros operatórios reais, em seguida são retirados 148684 kg/h de água, mais 73,62kg/h de gordura, enquanto as proteínas e os sais minerais não foi possível constatar nenhuma perda. Na saída através do trocador de calor é possível abaixar a temperatura até 38°C. O diagrama de fases para a mistura água-sacarose quando a pressão é constante é apresentado abaixo na Figura 5.

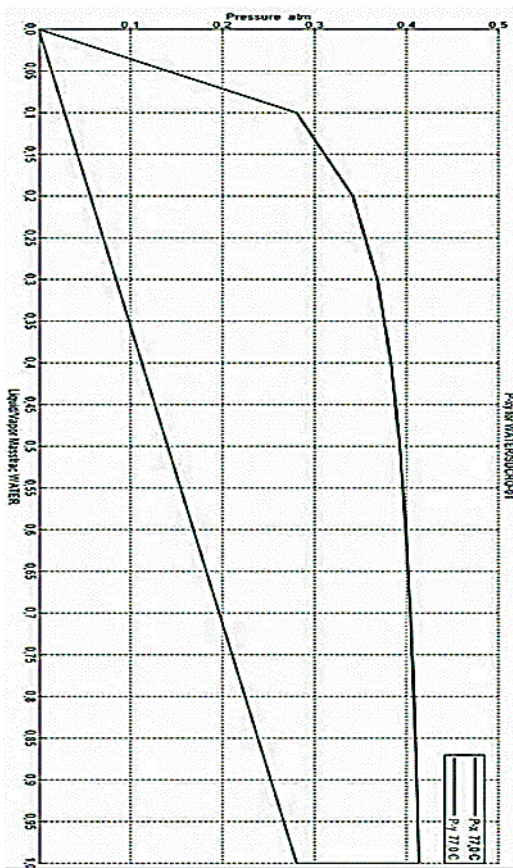
As informações fornecidas são importantes, pois contribuem para o perfeito conhecimento do processo com o objetivo de aperfeiçoar a produção. Para este processo o melhor ponto para se operar o flash seria entre as duas curvas,

pois neste local coexistem os dois estados físicos o que é importante na operação do Sistema de esterilização.

**Figura 5:** Gráfico do diagrama de fases para a mistura água e sacarose a pressão constante.

No gráfico (Figura 5) se observa que para qualquer composição e temperatura acima da linha superior, a mistura entra em vaporização e que para qualquer valor sobre a mesma reta é indicado o ponto de orvalho da mistura, entre as duas curvas é encontrado as duas fases vapor e líquido e abaixo da curva inferior as duas espécies se encontram líquidas.

O próximo gráfico, Figura 6, apresenta o diagrama de fases à temperatura constante da mistura água-sacarose onde são observados que para qualquer ponto interior as curvas existem os dois estados vapor e líquido para qualquer valor acima da curva superior o estado líquido é predominante, este sistema deve operar com os dois estados ao mesmo tempo



**Figura 6:** Gráfico do diagrama de fases para a mistura água e sacarose a temperatura constante.

Desenvolveu-se uma análise de custo de produção tomando como base o custo energético desenvolvido pelo flash, resfriador e aquecedor em função do volume de leite produzido e o custo para cada volume do produto produzido,

para a realização do cálculo utilizou-se os valores estabelecidos pela concessionária de energia para cada kWh consumido no desenvolvimento do processo sendo acrescidos os valores de PIS e confins determinados pela empresa de eletrificação os valores do custo referente ao produto comercializado foram determinados através da fórmula preço unitário de elaboração vezes a quantidade volumétrica produzida. Os cálculos para análise de custo obedeceram às equações para a estimativa do custo do produto por volume de leite produzido conforme equação:

$$CP = 0,99. V \quad (1)$$

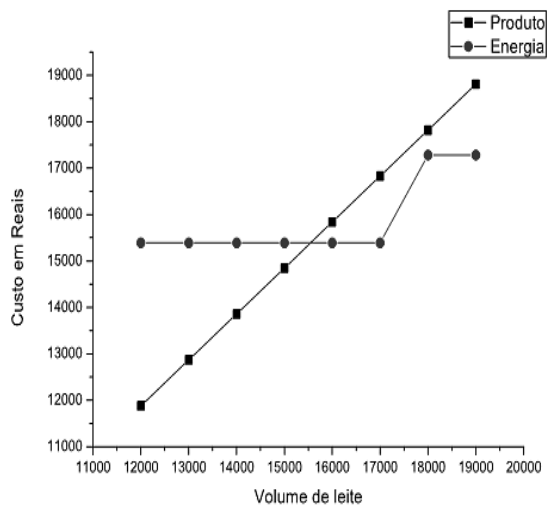
Onde:  $C_p$  e  $V$  são o custo do produto para a empresa e o volume produzido respectivamente. Já para a determinação do custo energético se utilizou a fórmula:

$$CA = E. Q(1,0483) \quad (2)$$

Onde:  $C_A$ ,  $E$  e  $Q$  são o custo energético, total de energia gasta pelo equipamento e o valor cobrado pela concessionária de energia por kWh gasto respectivamente. Ao observar o gráfico, Figura 7, observa-se que o custo dos insumos para a produção do leite cresce de forma linear.

O custo energético do processo foi avaliado de acordo como volume de produção. Nota-se que o custo energético se mantém praticamente constante para volumes de até 15.000 litros e que os gastos com energia para esta faixa de operação são maiores que os custos do produto. A partir de 15.500 litros, os gastos com energia se tornam menores devido à diluição com o volume de produção.

Observa-se que para produções acima de 15.500 litros, os custos com energia se alteram devido à natureza da operação usada, porém estes custos se mantêm abaixo dos custos do produto. A análise de custo para os demais equipamentos, bombas e trocadores de calor, estimou 841,75 reais como constante para o custo energética de produção.



**Figura 7:** Gráfico de análise de custo do processo.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o equipamento, o fluxograma e as principais etapas do processamento do leite esterilizado tipo UHT por infusão e injeção de vapor, esta simulação permitiu prever, avaliar e comprovar os elementos constituintes da operação. Dessa forma a simulação comprovou que ao ser retirado o vapor inserido durante o processo, ocorre a saída de certa quantidade de gordura, podendo ocorrer o decréscimo nos teores padrões de gordura do produto acarretando uma maior atenção neste estágio. Foi possível ainda determinar as quantidades de vapores necessárias para o correto funcionamento da planta o que não é controlado de certa forma no processo real na indústria. Logo a elaboração do processo permitiu conhecer o processo de maneira aprofundada e investigar possíveis soluções caso o processo apresente algum problema o que configura uma das funcionalidades do processo de simulação computacional.

## REFERÊNCIAS

ASPEN PLUS. **Getting started building and running a process model**. Burlington, EUA, 2010.

BRASIL. **Instrução normativa nº51**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 18 de setembro de 2002. Disponível em <<http://www.qualidadedoleite.com.br/hd/arquivos/IN51de2002-leitecnormas.pdf>> Acesso em 10 de junho de 2014.

BRASIL. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Inspeção Industrial e Sanitária do Leite e Derivados, capítulo 1. Rio de Janeiro, 1952.

GUERRA, J.; RIBEIRO, R. **Está tirando leite de pedra? O bom do leite**, Scot consultoria, Bebedouro (SP), ano 6, ed.125,2012.

IGLESIAS, J.M.C. **Simulação de sistemas térmicos para gerenciamento energético de usina sucroalcooleira**. Florianópolis, SC: UFSC, 2009.

MARTINS, A.M.C.V.; ROSSI JUNIOR, O.D.; SALOTTI, B.M.; BURGER, K.P.; CORTEZ, A.L.L.; CARDOZO, M. V. Efeito do processamento UAT (Ultra Alta Temperatura) sobre as características físico-químicas do leite, **Ciência e tecnologia de alimentos**, n.28, p.295-298, 2008.

ORDÓNEZ, J.A **Tecnologia dos alimentos, e processos**, Porto Alegre- RS: Artmed, 2005. V2.

RICHARDSON, P. **Thermal technologies in food processing**, Abington Hall, Abington Cambridge: Woodhead Publishing Limited, CB1 6AH, England, 2000.

SILVA, P. H. Leite aspectos de composição e propriedades, **Química Nova na Escola**, n.6,1997.

TETRA PAK, TA VTIS Introducing direct heating by steam infusion. **Manual de funcionamento**, 2008.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do leite**. UFES, Espírito Santo (ES) 2006.

VIEIRA, G. E. Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais, **XIII SMPEP**, Bauru (SP), 2006.