

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUMA SARAI DE OLIVEIRA

**Parametrização da produção de doce de leite em indústria de
pequeno porte**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2017

LUMA SARAI DE OLIVEIRA

**Parametrização da produção de doce de leite em indústria de
pequeno porte**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos, do Departamento de Alimentos – DALIM– da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – câmpus Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientadores: Prof. Dr^a Karla Silva



TERMO DE APROVAÇÃO

PARAMETRIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE DOCE LEITE EM INDÚSTRIA DE
PEQUENO PORTE

POR

LUMA SARAI DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2) apresentado em 23 de junho de 2017 às 9 horas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Dr^a. Karla Silva
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Angela Maria Gozzo
Membro da banca

Prof^a. Dr^a. Mirela Vanin dos Santos Lima
Membro da banca

Nota: O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR *Campus* Campo Mourão.

RESUMO

OLIVEIRA, Luma Sarai. Parametrização da produção de doce de leite em indústria de pequeno porte. 2017.51 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

O doce de leite, exportado com destaque pelo Brasil, consiste basicamente do leite açucarado concentrado. Trata-se de um produto que pode agregar até 400% de valor à matéria-prima láctea. A produção desse doce varia de métodos manuais caseiros até industrializados em batelada, sendo que a etapa crucial do processo é o cozimento a alta temperatura para concentração e escurecimento do produto. Trata-se de uma produção que carece de parâmetros para controle da palatabilidade desejada, sendo a textura o principal atributo, mas cuja verificação está, via de regra, limitada a experiência visual e tátil do operador durante processo de evaporação. Neste contexto, o presente trabalho propõe o acompanhamento de uma linha de produção de doce de leite em indústria de pequeno porte para parametrização do processo. Verificou-se que embora o processo esteja devidamente equipado e instrumentado para as operações de aquecimento por vapor. O desconhecimento da operacionalização da instrumentação e racionalização da energia tem levado a procedimentos inadequados. Tornou-se evidente a atuação do Engenheiro de Alimentos para orientar a correção dos procedimentos, aprimorar o monitoramento e indicar pontos de economia energética que influenciarão ainda na eficácia da produção e segurança do pessoal da linha de operação.

Palavras-chave: *Doce de leite, parâmetros, isolamento térmico, tempo de cozimento.*

ABSTRACT

OLIVEIRA, Luma Sarai. Parametrization of the production of dulce de leche in small industry. 2017.51 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

Milk candy, exported with prominence in Brazil, consists basically of milk with sugar concentrated. It is a product that can add up to 400% of value to the dairy raw material. This candy confection varies from home made to industrialized methods. The crucial step in the process is high temperature cooking for concentration and darkening of the product. It is a production that lacks parameters to control the desired palatability, the texture being the main attribute, but whose verification is, as a rule, limited to the visual and tactile experience of the operator during the evaporation process. In this context, the present work proposes the follow-up of a production line of milk candy in small industry for parameterization of the process. It has been found that although the process is suitably equipped and instrumented for steam heating operations. The lack of knowledge about the operationalization of energy instrumentation and rationalization has led to inadequate procedures. It became clear that the Food Engineer is working to guide the correction of procedures, improve monitoring and indicate energy saving points that will influence the efficiency of the production and safety of the line operating personnel.

Keywords: *Milk jam, parameters, insulation, cooking time.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Esquema de um tacho de fabricação de doce de leite.....	20
FIGURA 2. Sistema de vapor comum.....	22
FIGURA 3. Partes internas de um manômetro de Bourdon.....	23
FIGURA 4. Fluxograma da produção do doce de leite.....	32
FIGURA 5. Desenho esquemático da planta de produção de doces da Indústria de pequeno porte.....	34
FIGURA 6. Modelo da planilha utilizada para registro manual das temperaturas do doce de leite no tacho.....	36
FIGURA 7. Imagens ilustrativas dos indicadores de temperatura utilizados.....	37
FIGURA 8. Temperaturas do doce de leite durante cozimento em 18 diferentes dias.	40
FIGURA 9. Imagem do refratômetro portátil da marca Atago® modelo Pocket PAL-2.	42
FIGURA 10. Comparação entre tempo de cozimento e graus brix para doce de leite ao final do processo de evaporação.....	45
FIGURA 11. Comparação entre temperatura de cozimento e graus brix para doce de leite ao final do processo de evaporação.....	45
FIGURA 12. Comparação entre Temperaturas ambiente e de cozimento do doce de leite para diferentes amostragens.....	46
FIGURA 13. Corte esquemático de um tubo espesso revestido por isolamento Térmico.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Quantidades e ingredientes utilizados na produção do Doce de leite.....	30
TABELA 2 – Ensaio comparativo de temperatura por diferentes instrumentos.....	37
TABELA 3 – Registro do controle da temperatura do doce de leite.....	39
TABELA 4 – Leituras do grau Brix feitas em triplicata.....	41
TABELA 5 – Parâmetros monitorados durante cozimento do doce de leite.....	43

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2.OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Doce de leite.....	15
3.2 Parâmetros de controle do processo.....	18
3.3 Tecnologia de fabricação do doce de leite.....	19
4.METODOLOGIA.	25
4.1. Caracterização do processo de produção do doce de leite.....	25
4.2. Identificação dos procedimentos, práticas e apontamentos na produção..	25
4.3. Estabelecimento das ações para eficácia do processo.....	25
4.4. Equacionamento para dimensionamento do projeto de implementação..... do isolamento térmico.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1. Descrição do processo de produção do doce de leite.....	30
5.2. Geração de Vapor para o processo.....	32
6. CONCLUSÃO.....	49

1. INTRODUÇÃO

O doce de leite é um produto típico da América Latina, com produção expressiva no Brasil e Argentina, existindo basicamente em duas variedades, classificadas de acordo com o ponto de cocção: doce de leite em pasta (ou mole) e o doce de leite em tabletes (ou duro) (VIEIRA & JUNIOR, 2014). Tecnicamente, o processamento é simples, consistindo na evaporação da água por aplicação de calor na forma de vapor injetado em tanques encamisados (evaporadores). Trata-se de uma alternativa rentável e que agrega valor expressivo à pecuária leiteira, podendo o lucro chegar a 400% (FRANCO, 2015). Entretanto, Perrone (2011) relata que a padronização desse produto depende muito da habilidade individual de cada fabricante, ressaltando que as condições dos equipamentos, na maioria das vezes, são bastante limitadas tornando imprescindível a parametrização.

A qualidade de um produto não é ocasional e, industrialmente, sempre é reflexo de um conjunto de ações bem planejadas, resultando em um esforço inteligentemente aplicado, que advém do conhecimento minucioso do controle das diferentes etapas do processamento industrial (SOARES, 2010). O reconhecimento dos parâmetros de processo que definem as características principais do produto é essencial para garantia da qualidade devendo-se, portanto, conhecer todas as etapas, processos e parâmetros para segurança da produção.

Os atributos a serem controlados na fabricação do doce de leite se dão desde o início através da seleção do leite, passando pela pressão de trabalho do equipamento até o controle da temperatura. Os devidos cuidados com o controle são tomados para atender as exigências da legislação, dos custos de produção, da segurança operacional, da inocuidade alimentar e de padronização do produto final (PERRONI, 2012). A fabricação industrial do doce de leite, requer equipamentos básicos para manter o doce adequadamente padronizado durante cada processo (LAGUNA, et al., 1999), tornando o processo de monitoramento facilitado.

De fato, a competitividade da indústria do doce de leite, assim como de qualquer produto, depende mais da confiabilidade, da segurança e da qualidade dos insumos e parâmetros de processos do que do preço do produto final. Pelo

exposto, o presente trabalho propõe a investigação dos parâmetros e processos de fabricação do doce de leite em indústria de pequeno porte, objetivando uma parametrização focada na eficiência material e energética.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Verificar os parâmetros, limites e ações fundamentais na parametrização visando rentabilidade do processo produtivo do doce de leite.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterização do processo de produção do doce de leite
- Identificação dos problemas em potencial no processo
- Levantamento teórico e prático das condições necessárias e dos limites aplicados à garantia dos parâmetros desejados;
- Verificação dos procedimentos padrão para cumprimento dos limites estabelecidos como críticos para garantia dos parâmetros desejados;
- Revisão e avaliação do registro e controle dos parâmetros de processo;
- Proposição de projetos como estratégias para melhoria do processo;
- Apresentação de estimativa de investimento e retorno com implementação da proposta de melhoria do processo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estabelecimento de padrões, para especificações desejadas de um alimento processado, pressupõe conhecimento prévio dos componentes bem como dos processos geradores do produto. Considerando o interesse específico na parametrização do doce de leite, apresenta-se aqui uma breve revisão sobre definição, componentes, parâmetros e processos para obtenção do doce de leite.

3.1 Doce de leite

Segundo Vieira & Junior (2014) o doce de leite é um dos derivados lácteos mais fabricados no Brasil, sendo um produto da cocção, para concentração, de uma mistura de leite e açúcar com ou sem aromatizantes. Trata-se de um doce com consistência homogênea cremosa ou pastosa, sem grumos, flocos ou bolhas, cor caramelo brilhante resultante da reação de Maillard, aroma próprio e sabor característico (MADRONA et al., 2008). Contém valor nutricional elevado devido a presença de proteínas e minerais, além do conteúdo energético. Quando comparado ao leite é menos perecível e com índices elevados de aceitação sensorial (OLIVEIRA et al, 2010). De acordo com a legislação (BRASIL, 1997), o doce de leite deve ter no máximo 2% de cinzas, no mínimo 5% de proteínas, no máximo 30% de umidade e de 6,0 a 9,0% em gordura.

Estudos de mercado sobre o consumo de doces no Brasil indicam que existem 114 milhões de consumidores, sendo que cada pessoa consome anualmente cerca de 2,04 quilos de doce. Este mercado representa cerca de US\$ 6 bilhões, o que demonstra o grande potencial do produto no mercado econômico nacional. Entretanto, ainda é necessária uma abordagem estratégica fundamentada na transferência de tecnologia, no conhecimento e identificação de nichos de mercado e no uso de matérias primas de boa qualidade, obedecendo as normas vigentes na legislação. Conforme aponta Laguna (1999), atendendo a estes critérios é possível tanto atingir resultados econômicos satisfatórios, como diversificar os produtos lácteos com excelente qualidade do doce de leite segundo as exigências do consumidor.

Mesquita (1985) destaca que a fabricação do doce de leite no Brasil ainda é, em sua maioria, artesanal, descontínua, demorada e com grande consumo de energia.

O padrão está ligado diretamente ao operador de linha de produção, denominado mestre doceiro, resultando em dificuldades para a sustentação da qualidade entre os diferentes lotes do mesmo fabricante. Com isso, os produtos encontrados no mercado brasileiro apresentam grande variação das suas características de cor, consistência, corpo, textura, composição e apresentação global.

No caso do processo artesanal, utilizado preferencialmente pelas fábricas de doce cujas escalas de produção são bem reduzidas, o produto é feito com leite, açúcar, bicarbonato de sódio e glicose. O bicarbonato é usado quando é preciso reduzir a acidez do leite e da glicose, sendo adicionado na proporção de 2% para, com isso, diminuir a cristalização e melhorar a aparência, brilho e viscosidade do doce (CARVALHO, 2007).

Os laticínios, para seguir a nova legislação, passaram a utilizar diferentes ingredientes como amidos ou amidos modificados, aditivos (estabilizantes, espessantes, conservadores, corante caramelo, umectante sorbitol) e determinadas substâncias classificadas como coadjuvantes de tecnologia (hidróxido de sódio, carbonato de sódio), anteriormente proibidos pelas normas do Ministério da Saúde (CARVALHO, 2007).

Perrone (2007) detalha os parâmetros determinantes das características finais desejadas do produto e que devem ser avaliados no ponto final de cozimento. Segundo o autor, são necessárias ao menos duas análises de sólidos solúveis, com valores desejados entre 68 e 71° Brix, em temperatura pouco superior a 100°C. Outro parâmetro de controle citado por Klug (2007) é o pH que deve estar entre 5,9 e 6,1. Sob necessidade de se ter acidez reduzida, utiliza-se bicarbonato de sódio, evitando assim a formação de grumos (PERRONE, 2007).

De fato, a qualidade de um produto não é obtida ao acaso, mas sim como resultado de ações muito bem estudadas e aplicadas, que advém do completo conhecimento e controle das diferentes etapas do processamento industrial (SOARES et al., 2010)

Para melhor preservação e maior vida de prateleira, este alimento deve ser mantido em locais onde não haja presença de umidade, nem sol ou calor, ou seja, deve ser armazenado em local seco, arejado e fresco (SENAR, 2010).

Genericamente, os principais insumos para a produção do doce de leite são: açúcar, água, soro de leite, leite em pó integral, gordura vegetal, benzoato de sódio,

chocolate ao leite, dióxido de titânio, aroma de leite condensado, farinha de trigo, retalhos de cortes e sal.

O leite é composto basicamente por água (87,50%), gordura (3,60%), caseína (2,70%), proteína do soro (0,60%), lactose (4,90%) e sais minerais (0,70%). A gordura é o componente do leite que mais apresenta variações em função do tipo de alimentação e saúde do animal, período de lactação e raça, bem como da estação do ano. (TRONCO, 2008). Devido a sua importância na alimentação humana, deve-se seguir alguns parâmetros para o produto atingir boa qualidade. No Brasil, esses parâmetros são apresentados na Instrução Normativa 51, que determina características físico-químicas e microbiológicas que o leite deve oferecer, desde sua produção, transporte, até sua entrega pelo produtor na indústria, além de outras informações sobre os estabelecimentos onde o leite é produzido (PORTZ, 2011). A lactose, conhecida popularmente como açúcar do leite, é um dissacarídeo composto por glicose e galactose (BARBOSA & ANDREAZZI, 2010). Por possuir valor nutritivo é uma fonte de energia que oferece, na nutrição das crianças, a retenção de cálcio, estimulando a ossificação e prevenindo a osteoporose (ORDÓÑEZ, 2005).

Na fabricação artesanal de doce de leite para se obter um doce com cor e textura ideais, faz-se necessário que o leite apresente boa qualidade e que o mestre doceiro tenha muita habilidade, sendo ainda imprescindível a utilização de utensílios adequados durante o processo. Para a fabricação industrial, este sistema exige equipamentos básicos que mantenham o doce de leite corretamente padronizado durante cada processo (LAGUNA et al., 1999).

Segundo Carvalho (2007) deve-se empregar sacarose misturada ou não de glicose. A sacarose deve ser seca e não apresentar impurezas. A glicose (açúcar do milho) pode ser empregada para substituir parte da sacarose (2% sobre o volume de leite) com a finalidade de tornar o doce de consistência mais macia e com maior viscosidade, e ainda para dificultar o aparecimento de cristais. A sacarose deve ser de boa qualidade e sem fermentação sendo segundo a legislação (BRASIL, 2000), empregada na quantidade máxima permitida de 30 kg/100L de leite. A quantidade de açúcar deve ser adicionada ao leite quente (acima de 70°C) em quantidades que variam entre 18 a 20% (m/v) para o doce de leite pastoso, podendo chegar a 30% (m/v) para o doce de leite em barra (CARVALHO, 2007). Ao se fazer a adição do açúcar, deve-se ter o cuidado para que este não grude na parede do tacho, o que acarretaria em sua caramelização, podendo escurecer o doce (CASTRO, 1985). A

quantidade de açúcar a ser adicionada, relaciona-se ainda com qual embalagem será utilizada e a vida de prateleira do doce. A embalagem que permite a perda de umidade, com conseqüente quebra do equilíbrio de solubilidade dos açúcares resulta em aparecimento precoce de arenosidade no produto, principalmente nas épocas mais quentes do ano, ou quando estocado em lugares não muito ventilado (SOARES et al., 2010). Flauzino (2007) ressalta que a concentração de açúcar no doce não deve ser maior do que a porcentagem de sólidos totais necessária para a saturação do açúcar e a cristalização de parte dele, pois esse excedente levaria à formação de uma sedimentação, gerando um produto final com arenosidade indesejada.

3.2 Parâmetros de controle do processo

Os parâmetros de controle mais relevantes do processo de produção do doce de leite são: o tempo, a temperatura, a cor, concentração de sólidos solúveis (define o ponto final do cozimento).

O tempo de processo, da mistura de insumos, a alta temperatura é que determina o tipo do doce de leite: quanto maior for o tempo de cozimento do produto, maior será a concentração final de sólidos solúveis totais (Brix), para o doce de leite em tabletes este valor deve ser de aproximadamente 86° a 88°Brix ao final do processo (PEREIRA et al., 2012). Após o ponto final, desliga-se o vapor, mantendo-se a agitação e promove-se o resfriamento, até que atinja a temperatura de 70°C (KLUG, 2007).

Esse processo de cozimento, nomeadamente o processo de concentração do produto, deve ser feito em tacho a vapor ou aberto com homogeneizador de 80 rpm, a uma temperatura suficiente para deixar o leite em ebulição constante. No entanto, não se deve usar temperaturas altas demais durante essa concentração do doce, pois poderá causar escurecimento excessivo e indesejável (KLUG, 2007).

Como na elaboração do doce de leite é muito empregado a utilização de tachos à vácuo, o escurecimento do doce se dá devido a caramelização, ou seja, uma reação de compostos amino (proteína e aminoácidos) com o açúcar. Flauzino (2007) registra que no doce de leite os principais reagentes são a caseína e a lactose, sendo a reação afetada por:

- a) Tratamento pelo calor tão intenso quanto mais alta for a temperatura;
- b) Concentrações de sólidos: quanto maior mais intensa será a caramelização;

- c) O pH, pois à medida que o pH se eleva dos limites de 5,7 a 7,5 a caramelização se intensifica;
- d) Na medida que acontece a caramelização ocorre formação de hidróxido metil furfural e gliceraldeído acredita-se que eles sejam os responsáveis pelo escurecimento da cor.

A determinação do ponto final de cozimento, ou seja, do momento em que o produto vai ser retirado, é muito importante, pois isto é o que determina as características do produto final. Nesta etapa são realizadas análises de sólidos solúveis (em °Brix) sempre ao final deste processo, pois indica se o produto está pronto. A concentração final deve estar em torno de 68 a 71° Brix (KLUG, 2007). Além dessa leitura em °Brix, a literatura aponta outras formas para identificação do ponto final do doce, porém menos eficazes:

- Retirar uma gota de doce e coloca-la sobre um mármore. Quando este resfriar, indicará a consistência final do doce (LAGUNA & EGITO, 1999);
- Se a massa formada se apresentar do tipo “puxa-puxa” e não grudar nas mãos, o doce estará no ponto (SILVA, 2016).

Após o tempo de cozimento e homogeneização da mistura o doce deve ser encaminhado para as batedeiras ou agitadores mecânicos, onde é adicionado doce de leite reprocessado na proporção de 5-10%, 3 minutos antes do ponto final do doce (CARVALHO 2007).

3.3 Tecnologia de fabricação do doce de leite

O doce de leite pode ser fabricado basicamente das diferentes maneiras: de forma artesanal, em tachos por batelada, ou em tachos de forma contínua, em evaporadores a vácuo e tacho.

A fabricação do doce de leite requer o uso de equipamentos básicos para manter o doce de leite adequadamente padronizado durante cada processo, sendo necessários os seguintes equipamentos (SILVA, 2016):

- Tacho de aço inox com agitador, tampa e exaustor para eliminar a água em forma de vapor, ser de parede dupla na parte inferior, sendo alimentado com vapor e movido a eletricidade, com uma rotação de 80 rpm;
- Refratômetro para verificar o teor de graus brix;

- Recipiente inox para receber o doce;
- Balança para pesagem do doce

O trocador de calor mais utilizado na fabricação do doce de leite é o tacho, que é formado por uma camisa interna em aço inox e uma camisa externa para a passagem de vapor. O tacho costuma operar geralmente com capacidade de trabalho de 25L a 1000L de leite (PERRONE, 2007). Trata-se de um equipamento de fácil utilização e manutenção barata, porém requer controles no intuito de aumentar a sua vida útil e a segurança de seus operadores (PERRONE, 2012). Na figura 1 pode-se ver um esquema de um tacho encamisado.

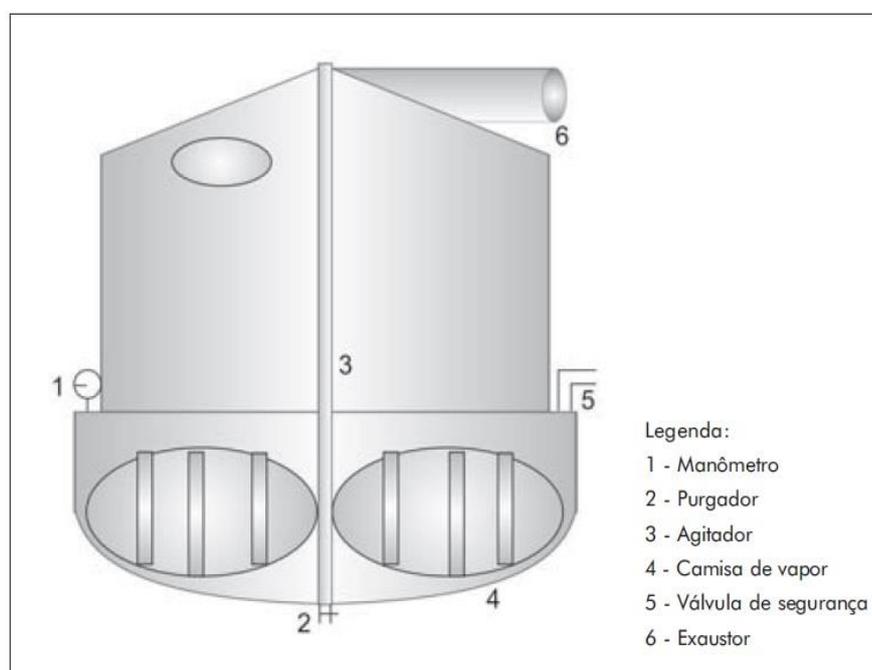


Figura 1. Esquema de um tacho de fabricação de doce de leite.

FONTE: PERRONE, 2012.

O tacho onde o doce de leite é fabricado é de suma importância para o doce atingir excelência na qualidade do produto final, e o seu correto funcionamento e operação são determinantes para o custo final do processamento. A camisa de vapor que promove o aquecimento indireto dos ingredientes a partir da circulação de vapor é instalada em aproximadamente 1/3 da altura do tanque e a pressão do vapor utilizado para aquecimento deve estar entre 800 kPa e 900 kPa (PERRONE, 2012).

Perrone (2007) ressalta que a fabricação do doce também pode ser feita através de evaporadores a vácuo, obtendo-se considerável redução do consumo de vapor e notável aumento da capacidade de produção. Um tacho do tipo aberto, por exemplo, consome de 1,1 kg a 1,3 kg de vapor para evaporar 1,0 kg de água do leite. Já um evaporador à vácuo, pode gastar somente de 0,1 kg a 0,3 kg de vapor para evaporar a mesma quantidade de água.

Industrialmente, portanto, o cozimento do doce de leite é promovido pela troca de calor com o vapor. A utilização de calor nas indústrias é frequente; em sua grande parte os níveis de temperatura estão ao redor de 150°C a 200°C, estes níveis de temperaturas são utilizados para os processos de secagem, cozimento, evaporação, desidratação, concentração, cozimento, produção de reações químicas e esterilização microbológica. (ELETROBRÁS, 2008). A utilização do vapor como fonte de energia, prende-se ao fato de que ele pode realizar o deslocamento por escoamento de grandes quantidades de calor e energia para locais distante com facilidade, pode ser empregado no acionamento de máquinas como uma turbina a vapor, bomba ou ainda utilizando seu calor para o aquecimento de grandes quantidades de líquidos (FROZZA e DECOL, 2012), além de trazer grandes vantagens, na utilização da água, onde água é uma substância facilmente disponível, pouco agressiva quimicamente e com grande capacidade de transportar energia (ELETROBRÁS, 2008). Os geradores de vapor são equipamentos trocadores de calor complexos que produzem o vapor d'água através de pressões superiores a pressão atmosférica, devido a uma energia combustível e um elemento comburente que é o ar. A produção de vapor pode ser realizada através das caldeiras, que funcionam como uma espécie de panela de pressão, aquelas devem estar totalmente alinhadas para que possam ter o melhor rendimento térmico possível (LEITE, 2013). Mello (2010), afirma que as caldeiras são equipamentos amplamente utilizados na indústria, visto que são muito importantes para o processo produtivo, e em alguns casos, o principal equipamento. Um sistema de vapor típico pode ser representado pela figura 2, que pode ser descrito como basicamente formado por quatro componentes principais onde são: gerador de vapor (caldeira), sistema de distribuição, equipamentos de consumo de energia e o retorno do condensado (SILVA, 2013). Todos os elementos do sistema interagem entre si, desta forma se houver algum problema em qualquer parte do sistema, todo o sistema fica comprometido o que poderá acarretar em perdas energéticas e com isso consequente aumento do custo de operação (PALACIOS, 2010).

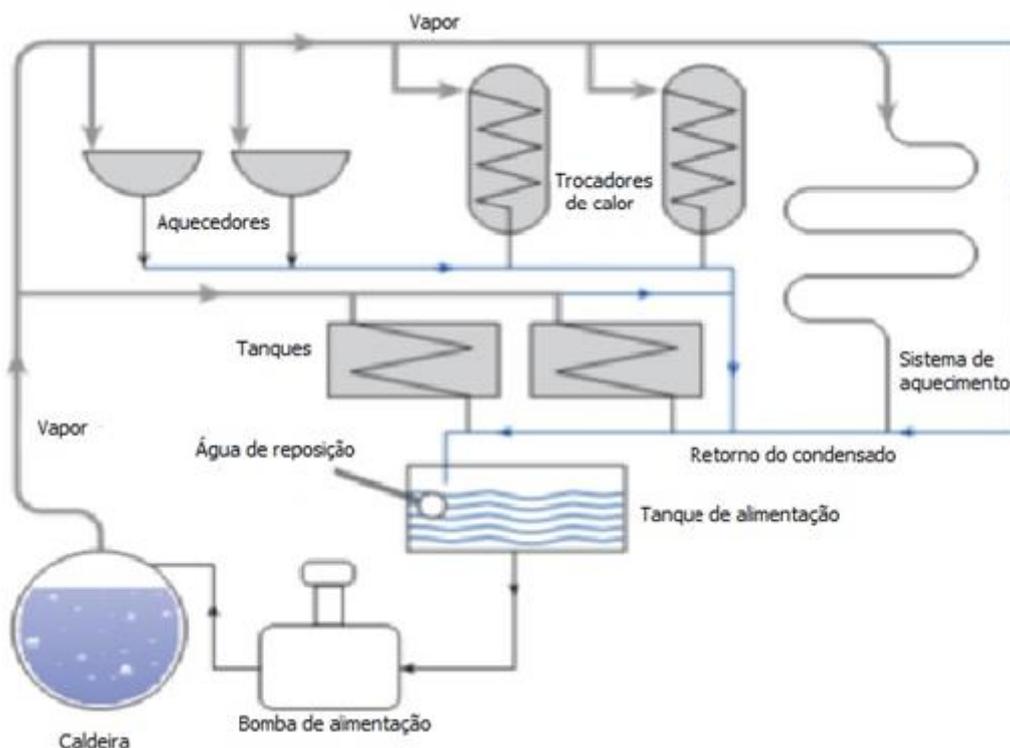


Figura 2. Sistema de vapor comum.

FONTE: Palacios, 2010.

Para propósitos da NR 13, as caldeiras são classificadas em categorias, conforme Altafini (2012) afirma:

- Caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,6bar = 19,98 kgf/cm²).
- Caldeiras da categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,88bar = 5,99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros.
- Caldeiras da categoria B são todas aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores

Caldeiras de alta pressão operam com vapor a pressões superiores a 950 psig e as condições no ciclo água-vapor são extremas nos aspectos de pressão, temperatura e outras características do vapor (ALMEIDA 2014). Água de reposição precisa ser continuamente adicionada, pois existem perdas de condensado ao passar pelas tubulações decorrente dos purgadores, vazamentos no ciclo de geração ou emprego no processo (RAJAKOVIC et al, 2011). A água de alimentação de caldeiras é então composta pelo condensado que retorna do processo e pela água de reposição

(ALMEIDA, 2014). Em função da condição severa de operação de uma caldeira de alta pressão, a água de reposição deve ser de alta pureza podendo ser tratada antes de encaminhada para a caldeira. O retorno de condensado também é um ponto crítico, pois a operação deficiente do condensador de vapor e contaminações de processo podem introduzir grandes quantidades de oxigênio e outros elementos no sistema de água de alimentação (BUECKER, 2008). Jain (2012), ressalta que toda água de fonte natural contém gases dissolvidos e certos gases, como dióxido de carbono e oxigênio aumentam bastante a corrosão, assim, a remoção destes componentes da água de alimentação de caldeiras é importante pois prolongam o tempo de vida útil da caldeira, bem como para segurança operacional. Em caldeiras modernas, a maior parte do oxigênio dissolvido é removido mecanicamente e a quantidade restante é sequestrada quimicamente (FARAHBOD, 2012).

O conhecimento das pressões em uma caldeira é obrigatório, não só sob o ponto de vista de segurança como também para que sua operação seja econômica e segura. Cada caldeira tem uma capacidade de pressão determinada, que, por norma deve ter um instrumento de indicação extremamente visível, com escala também extremamente visível, e situar-se em local de fácil observação do operador. A pressão máxima de funcionamento da caldeira deverá estar sempre marcada sobre a escala do manômetro, com um traço feito à tinta vermelha, para servir de alerta ao operador para controle da pressão (ELÉTROBRAS, 2008). Portanto, torna-se extremamente necessário, em sistemas de utilização de vapor, o monitoramento e controle da variável pressão. Almeida (2014), afirma que o mais utilizado dos medidores de pressão é o manômetro de Bourdon, esquematizado na figura 3.

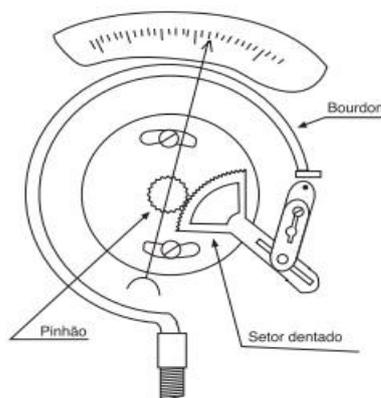


Figura 3. Partes internas de um manômetro de Bourdon.

FONTE: ALMEIDA, 2014.

Existem basicamente dois tipos de forma de vapor, o saturado é um vapor considerado úmido, pois contém pequenas partículas de água, quando se condensa, cede calor latente, o vapor superaquecido é obtido através do aquecimento do vapor saturado, resultando em um vapor seco (CHIARANTANO E SANTANA, 2008).

A redução de gastos durante o processo de fabricação e a preocupação com o meio ambiente são dois fatores explorados pelas indústrias, percebe-se que o uso racional e cada vez mais eficiente dos recursos naturais, passou a fazer parte da visão estratégica das organizações pelo aspecto da competitividade, e principalmente pela sustentabilidade para a sobrevivência da empresa (FROZZA e DECOL, 2012). Para conseguir a redução dos gastos energéticos e a conservação de energia deve-se evitar a perda de energia térmica produzida na forma de calor. Portanto, é importante o isolamento térmico de todas as superfícies que possam perder calor a fim de se evitar uma queima desnecessária de combustível (PEDERIVA e MATTIONI, 2013).

Neste sentido, reforça-se a necessidade de isolamento de tubulações, conexões, válvulas e acessórios que transportam o vapor, bem como equipamentos que façam uso do mesmo

Para o isolamento térmico de equipamentos e tubulação devem ser selecionados materiais a partir de sua resistência térmica, sendo sempre conveniente confirmar aplicabilidade junto ao fabricante. Os isolantes térmicos para altas temperaturas mais conhecidos são da fibra de vidro, lã de rocha basáltica, silicato de cálcio, diatomita e vermiculita. Ainda são utilizados acabamentos revestindo o material isolante básico, com a finalidade de: oferecer uma barreira à umidade do ambiente, bem como a vapores agressivos e ao tempo, dar um bom aspecto ao isolamento ou conferir-lhe resistência mecânica, dar-lhe proteção ao fogo, minimizar a transferência de calor por radiação no caso de superfícies metálicas mais ou menos polidas. No caso da barreira à perda de calor por radiação, há a opção do emprego de folhas de alumínio, níquel, aço e eventualmente de outros metais. levando então a condutividade do isolante ser igual a do gás (MILCENT, 2007). Nogueira (2005) ressalta que os melhores isolantes apresentam condutibilidade próxima de 0,03 11 Kcal/h.m.°C, dentre os isolantes mais utilizados, é encontrado os refletivos, fibrosos, granulares e celulares. Os critérios para a recomendação da espessura do isolamento térmico levam em consideração o diâmetro da tubulação e a temperatura do vapor, não sendo observada a temperatura ambiente em que esta tubulação será aplicada (PEDERIVA, 2013).

4. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido tendo-se como premissa a situação prática vigente em indústria de fabricação de doce de leite típica de pequeno porte. Descreve-se na sequência as etapas realizadas do trabalho.

4.1. Caracterização do processo de produção do doce de leite

Foram inicialmente listados os insumos necessários a produção do doce de leite. Estabelecido o objetivo de estudo em uma indústria de pequeno porte, foram descritos os equipamentos e fluxos de processos típicos que caracterizam tal estrutura.

Aqui se estabelece a diferenciação entre a produção do doce de leite caseiro e a industrial, ainda que em pequena escala. A diferença principal, além do volume de produção, reside nas operações de troca térmica a alta temperatura, como a concentração da mistura de insumos. Na produção caseira desse doce, a evaporação do leite se dá utilizando trocas térmicas em pressão atmosférica. Por outro lado, a produção industrial caracteriza-se pela utilização de fontes térmicas mais robustas, nomeadamente trocadores de calor encamisados, alimentados por vapor superaquecido (alta pressão e alta temperatura) para trocas de calor indiretas com o alimento. Conforme visto na teoria registrada neste trabalho, essa segunda troca de calor é mais efetiva, entretanto, requer estruturação adequada e cuidados específicos, além de, se não monitorado adequadamente, significar ineficiência energética. Por isso, foi feito um levantamento das possibilidades de perdas ou desvios dessa fonte de calor industrial, com vistas ao custo de produção.

4.2. Identificação dos procedimentos, práticas e apontamentos na produção

Munindo-se do levantamento teórico proposto ao processamento do produto em unidades de pequeno porte, verificou-se a prática vigente na instalação típica. Foi feito um acompanhamento do processo de produção, registrando-se os procedimentos operacionais vigentes, os padrões estabelecidos pela unidade e relatos dos colaboradores durante o processo de produção.

4.3. Estabelecimento das ações para eficácia do processo

Os registros foram feitos confrontando-se o teórico indicado com as ações práticas. A partir da verificação dos procedimentos operacionais vigentes foram definidos os

padrões mínimos aceitáveis para garantia do processamento com possibilidade de repetição, monitoramento, registro e repetibilidade.

Em posse dos relatos dos operadores e dos registros nas práticas operacionais foram propostos projetos como estratégia para melhoria do processo. O objetivo foi padronizar a linha de produção para garantias de procedimentos independentes de um operador experiente e ainda para redução dos gastos energéticos.

Foram feitas estimativas dos investimentos mínimos necessários e retornos possíveis com implementação das propostas de adequação. Essas propostas foram apresentadas à responsável do setor de produção, que acompanhou o desenvolvimento do trabalho para que servisse de intermediária e facilitadora da comunicação com a direção.

4.4. Equacionamento para dimensionamento do projeto de implementação do isolamento térmico.

Estando o fluido quente (vapor) no interior do tubo (T_1) e fora do tubo existir o ar em temperatura mais baixa (T_5), o calor fluirá de dentro para fora do tubo, fluindo no ambiente por convecção. Pela parede do tubo e pelo isolamento o calor flui por condução na direção do raio, unidirecional, em regime permanente, sem geração de calor e com condutividade térmica constante, podendo ser adotada a expressão:

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dr} = -k \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot L) \cdot \frac{dT}{dr}$$

Onde:

q = Taxa de transferência de calor;

k = Condutividade térmica;

A = Área de troca térmica;

T = Temperatura;

r = Raio;

L = Comprimento do tubo.

Integrando:

$$q = \int_{Interno=i}^{Externo=e} \frac{dr}{r} = -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \int_i^e dT$$

$$q \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} = k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L (T_i - T_e)$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_i - T_e)}{\ln \frac{r_e}{r_i}} \quad (1)$$

Essa equação 1 é usada para cálculo da taxa de transferência de calor por condução tanto pela espessura do tubo como pela espessura do isolante. Para esses cálculos considera-se a condutividade térmica (k) dos materiais, tubo e isolante, bem como os raios específicos.

Em relação a transferência de calor no interior do tubo (vapor) e no exterior do isolamento (ar), temos a validade da equação para a convecção:

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T = h \cdot A \cdot (T_x - T_y) \quad (2)$$

Onde:

h = coeficiente de transferência de calor;

T_x = Temperatura no início do raio da transferência convectiva;

T_y = Temperatura no final do raio da transferência convectiva.

Definindo um coeficiente global de troca térmica (U_j) para verificar a taxa total de transferência de calor (q_{Total}), pela área de troca (A_j) do interior do tubo a T₁ até o exterior do tubo a T₅:

$$q_{Total} = A_j \cdot U_j \cdot \Delta T_{Total} = A_j \cdot U_j \cdot (T_1 - T_5) \quad (3)$$

Onde:

q_{Total} = Taxa total de calor que é transferido;

A_j = é a área de troca de referência;

ΔT_{Total} = a diferença de temperatura total considerada;

U_j = o coeficiente global de troca térmica.

Substituindo as diferenças de temperatura pelas suas respectivas expressões já mostradas, teremos:

$$\frac{q_{Total}}{A_j \cdot U_j} = \frac{q_{1-2}}{h_{1-2} \cdot A_2} + \frac{q_{2-3} \cdot \ln r^3 / r_2}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{2-3}} + \frac{q_{3-4} \cdot \ln r^4 / r_5}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{3-4}} + \frac{q_{4-5}}{h_{4-5} \cdot A_4} \quad (4)$$

Onde:

q (1-2) = calor transferido entre a região interior do tubo e a face interna da parede do tubo;

h₁₋₂ = coeficiente de película no interior da tubulação de vapor;

A₂ = Área referente a face interna da parede do tubo;

q (2-3) = calor transferido entre a região interna da parede do tubo e a face externa da parede do tubo e face interna do isolamento;

r_3 = raio referente a face externa da parede do tubo e face interna do isolamento;

r_2 = raio referente a face interna da parede do tubo;

$k_{(2-3)}$ = coeficiente de condutividade térmica por condução do material que é feito o tubo;

$q_{(3-4)}$ = calor transferido entre a parede do tubo e face interna de isolamento e superfície externa do isolamento;

r_4 = raio referente a superfície externa do isolamento;

r_5 = raio referente a região onde se encontra o fluido que envolve o isolamento;

$k_{(3-4)}$ = coeficiente de condutividade térmica por condução do isolante térmico;

$q_{(4-5)}$ = calor transferido entre a superfície externa do isolamento e a região onde se encontra o fluido que envolve o isolamento;

$h_{(4-5)}$ = coeficiente de película do fluido que envolve o isolamento;

A_4 = área da superfície externa do isolamento.

A área de referência adotada por ser a área externa, de modo que:

$$A_j = A_4 = 2\pi \cdot r_4 \cdot L \quad (5)$$

Onde:

A_j = é a área de troca de referência;

r_4 = raio referente a superfície externa do isolamento;

L = comprimento do tubo.

Multiplicando-se todos os termos por esta área e simplificando, teremos:

$$\frac{1}{U_4} = \frac{r_4}{h_{1-2} \cdot r_2} + \frac{r_4 \cdot \ln r_3 / r_2}{k_{2-3}} + \frac{r_4 \cdot \ln r_4 / r_5}{k_{3-4}} + \frac{1}{h_{4-5}} \quad (6)$$

A taxa de transferência de calor fica sendo dada assim por:

$$q' = \frac{2\pi \cdot L \cdot (T_1 - T_5)}{\frac{1}{h_{1-2} \cdot r_2} + \frac{1}{k_{2-3}} \cdot \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{k_{2-3}} \cdot \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{1}{h_{4-5} \cdot r_4}} \quad (7)$$

Caso não tivéssemos a camada de isolamento, a dedução nos conduziria à expressão:

$$q = A_3 \cdot U_3 \cdot (T_1 - T_5) \quad (8)$$

E a expressão da velocidade de transferência seria:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_5)}{\frac{1}{h_{1-2} \cdot r_2} + \frac{1}{k_{2-3}} \cdot \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{h_{3-5} \cdot r_3}} \quad (9)$$

A condutividade térmica utilizada para o cálculo da espessura de isolante térmico referido (Armaflex AF) é 0,035 W/(m.k).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados na ordem e divisão que possibilitam o reconhecimento da lógica de desenvolvimento do trabalho.

5.1. Descrição do processo de produção do doce de leite

O doce de leite é produzido diariamente na unidade iniciando-se pela mistura, diretamente no tacho e em temperatura ambiente, de 50,0 kg de açúcar com 10,0 litros de água e 20,0 kg de retalho. O vapor é injetado na camisa do tacho, permanecendo a mistura no aquecimento por 5 minutos, após os quais adiciona-se 12,0 kg de farinha de trigo, 3,5 kg de soro de leite, 3,5 de leite em pó integral, 1,1 kg de sal, 20,0 litros de água e 5,0 kg de gordura vegetal. Para homogeneização da mistura é realizado a agitação por mais 5 minutos, acrescentando-se mais 50,0 kg de açúcar e 400 g de benzoato de sódio. Essa calda é aquecida a 110°C por 50 minutos, em pressão de 7 kgf/cm². Essa listagem dos insumos e quantidades relativas para essa produção encontram-se na tabela 1.

Tabela 1- Quantidades e ingredientes utilizados na produção do Doce de leite.

Ingredientes	Quantidade
Açúcar	100 kg
Água	30 L
Soro de Leite	3,5 kg
Leite em Pó Integral*	3,5 kg
Gordura Vegetal	5,0 kg
Benzoato de Sódio	400 g
Chocolate ao Leite	2,0 kg
Dióxido de Titânio	800 g
Aroma de Leite Condensado	150 g
Farinha de Trigo	12,0 kg
Retalho	60,0 kg
Sal	1,1 kg

*A formulação alternativa, nomeada P8, exclui o leite em pó integral utilizando-se 7 kg de soro de leite.

Após finalizado o tempo descrito de cozimento, a calda é transferida para a batedeira, onde se adiciona 40,0 kg de retalho juntamente com 2,0 kg de chocolate ao leite e 800 g de dióxido de titânio. A mistura é agitada por 2 minutos, enquanto deve-se formar uma película fina na superfície da massa. Após a identificação da película, adiciona-se 150 g de aroma artificial de leite condensado e a mistura é agitada novamente por mais 2 minutos. Na sequência é desligada a agitação e o compartimento inferior da batedeira é aberto possibilitando o escoamento do doce desse recipiente para a esparramadeira.

A esparramadeira percorre mesas de aço inoxidável, permitindo que a massa saia pelo efeito da gravidade. Previamente as mesas são untadas com óleo de milho e lecitina de soja a fim de evitar aderência do doce a mesa. Assim que o doce cai os colaboradores passam com limitadores de altura da massa que espalham, nivelam e uniformizam o produto a ser cortado. O doce permanece nessas mesas até que a massa fique parcialmente seca para os cortes, longitudinais e transversais, feitos por cortadores providos de facas uniformemente distribuídas e espaçadas, conferindo conferir largura e comprimento para o produto final. Depois de cortados, os doces são destacados das mesas, empilhados, por colaboradores, em quantidades determinadas, e são colocados em carrinhos-prateleira. Segue-se pesagem, tolerando-se um desvio máximo de peso de 5%.

A embalagem do doce de leite é feita de duas formas diferentes:

- a. Cada retângulo de doce é embalado individualmente, em máquina embaladeira, por uma embalagem primária de plástico, posteriormente acondicionado em potes de 1,0 kg ou em potes de 250 g ou em sacos de plástico (DEP) com 1,0 kg.
- b. Os pedaços são empilhados em quantidades determinadas para embalagem em blocos revestidos com embalagens primárias de plástico (que podem conter 1,05 kg, 1,5 kg, 700 g, 800 g, 400 g ou 165 g).

Depois de envoltos por embalagens primárias de polipropileno, os doces são selados e guardados em embalagens secundárias de papelão. No rótulo impresso, consta que o produto é de uso direto pelo consumidor e que o prazo de validade é de 8 meses. No rótulo instrui-se ao armazenamento em local limpo, seco, fresco, arejado e ao abrigo de luz solar, indicando-se que a formulação contém glúten e lactose. O armazenamento deve ser feito em local limpo, seco, fresco, arejado e ao abrigo de luz

solar. O produto pode ser comercializado por supermercados, padarias e restaurantes.

A figura 4 representa o fluxograma da produção do doce leite na unidade fábri.



Figura 4. Fluxograma da produção do doce de leite

5.2. Geração de Vapor para o processo

Os processos de aquecimento dos tachos representam as operações mais críticas do processo, uma vez que o binômio tempo-temperatura determinam o ponto de concentração (°Brix) e escurecimento (reação de Maillard), característicos do padrão de palatabilidade do doce de leite.

Esse trabalho se desenvolveu com foco em uma das três linhas de doce produzido em uma indústria de pequeno porte com geração de vapor utilizando Caldeira categoria B, com as seguintes características específicas:

- Marca/ Modelo: EIT 600H3
- Pressão Máxima de Trabalho Admitida: 8,0 kgf/cm²
- Pressão de Teste Hidrostático: 12,0 kgf/cm²
- Capacidade de Produção de Vapor: 6.000 kg/h
- Superfície de Aquecimento: 300 m²
- Data da Instalação: 11/ 2011
- Combustível: Lenha (eucalipto)

- Código de Projeto e ano de Edição: ASME I – 1999
- Última inspeção: 1/ 2016

O relatório para apresentação dos resultados das medições das emissões atmosféricas produzidas pela caldeira da empresa, apontou que o prontuário da caldeira foi encontrado parcialmente completo e em dia. As inspeções estavam sendo feitas no prazo e as recomendações fundamentais atendidas. A caldeira funcionava normalmente e satisfazia todas as condições de segurança constantes na NBR 12177 da ABNT. A parte da caracterização da caldeira acessível à inspeção conferia com o que constava no prontuário. Na última inspeção havia sido repostas a terceira Válvula de Segurança e feito o exame externo complementar com a caldeira parada. Os manômetros e termômetros dos quais dependem a segurança da caldeira foram examinados, assim como todas as válvulas de segurança exigidas. Exceto as incrustações presentes, não foram observadas anomalias capazes de prejudicar a segurança. A caldeira utiliza em média 846 toneladas/ano de lenha de eucalipto para a produção de 2600 toneladas de doces, estimando-se que opere 50 horas/ semana (2350 horas/ ano) com uma potência nominal de 5,9 MW.

Usando o software Microsoft Visio 2010 representado na Figura 5, foi desenvolvido o esboço da ligação da produção de vapor até a linha produtiva dos diferentes tipos de doce. Observa-se que no presente trabalho restringe-se a análise

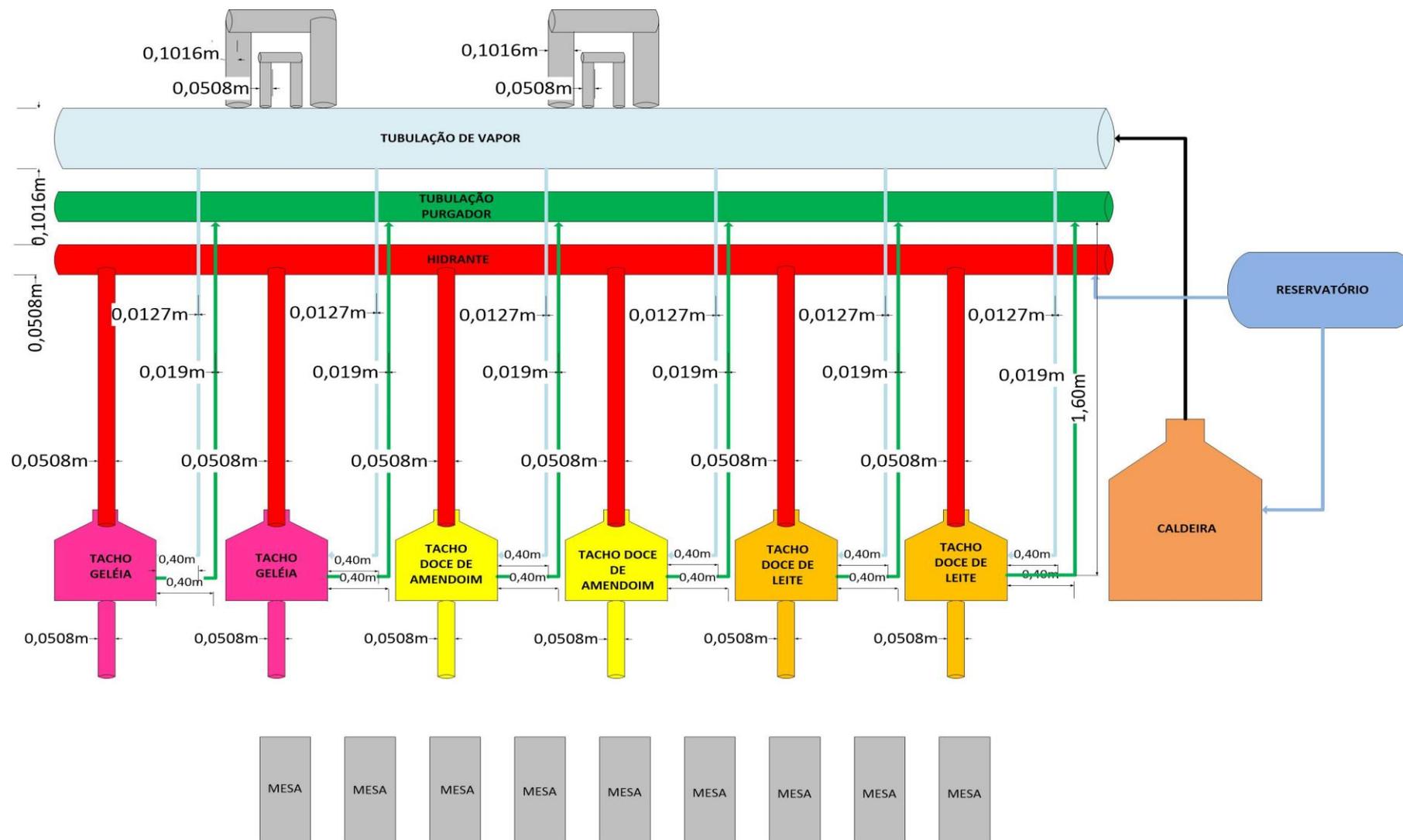


Figura 5. Desenho esquemático da planta de produção de doces da Indústria de pequeno porte.

nos dois tachos onde se evapora o doce de leite por ser essa a produção mais expressiva da unidade.

A água utilizada na caldeira passa por tratamento, sendo mantida em reservatório com capacidade para 8.000 L. O produto químico (AQUA CRIL C®) é colocado em tambor com volume de 20 litros de onde passa por gotejamento, via injetor mecânico com bomba peristáltica, para dentro da caldeira. Utiliza-se 20 L/semana (80 L/mês) do produto de tratamento que objetiva evitar incrustações e deposição nas superfícies de aquecimento

Conforme enfatizado a água deve ser tratada para gerar o vapor na caldeira. A pressão que a caldeira opera é de 7,5 kgf/cm² e o vapor superaquecido sai da caldeira e segue para a planta de processamento do doce de leite em percurso linear por tubulação principal com diâmetro de 4 pol (0,1016 m), antes de chegar aos tachos num percurso reto total de 100 m de onde saem as derivações encaminhadas aos tachos. Esse trecho é o de maior bitola, encontra-se todo isolado termicamente e contra umidade, contando com inserção de lira e juntas de dilatação para garantir a absorção livre das dilatações térmicas dos tubos. A derivação do vapor da tubulação principal até o tacho tem bitola de ½ pol (0,0127 m) mas não apresenta isolamentos, o diâmetro externo da tubulação de vapor segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials) é 0,850 pol (21,30 mm). Na derivação existe um manômetro analógico e válvulas de bloqueio todas sem isolante até atingir o invólucro do tacho.

Cada tacho é instrumentado com sensor de temperatura do tipo termoresistência Pt100 (precisão 0,7 °C), encapsulado e com cabeçote de proteção sanitária fixado por solda na parte inferior interna desse equipamento. Os sensores de temperatura estão conectados a indicador de temperatura microprocessado (Marca Novus® modelo N320), de 3½ dígitos que aceita sensores tipo Pt100, Pt1000, termistores NTC ou termopares tipo J/K/T, todos com a possibilidade de ajuste para correção de erro (offset). O indicador de temperatura pode operar de 0 a 40 °C e possui histerese ajustável com possibilidade de proteção dos ajustes por senha e saídas para aquisição de dados.

Essa instrumentação existente possibilita o monitoramento dos dados de temperaturas do tacho de maneira eletrônica e contínua ao longo do processo, possibilitando o registro automático desses dados. Entretanto, as conexões de saída dos dados não são utilizadas e o display apenas de um dos tachos é utilizado eventualmente, sob o argumento de ser suficiente a “experiência do operador” para

detecção das temperaturas e tempos ideais de aquecimento. Quando questionados sobre existência de metodologias de controle ou registro das variáveis apresentaram a planilha conforme esboçado na figura 6.

PROGRAMA DE AUTOCONTROLE																	
CONTROLE DE TEMPERATURAS																	
															Código:		
															Empresa: 002616		
															Seção: 00		
															Página: 1 de 1		
Registro Mensal da Temperatura do Doce de Leite. Mês:																	
Data	Hora	T°C	'Brix	Ação corretiva	Visto												
01																	
02																	
03																	
04																	
05																	
06																	
07																	
08																	
09																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	

Figura 6. Modelo da planilha utilizada para registro manual das temperaturas do doce de leite no tacho.

Os operadores relataram que os registros das temperaturas ocorriam esporadicamente e considerando principalmente as leituras feitas no tacho 1. Ainda relataram que utilizavam paralelamente um termômetro digital manual do tipo vareta marca Minipa® modelo MV363, de sensor termorresistência com resolução de 0,1°C e precisão 2 °C.

Reconhecendo a necessidade de validação da instrumentação nos processos industriais, foram realizados testes de medida de temperaturas para comparação dos valores obtidos pelos dois tipos de sensores de temperatura (utilizados pelos operadores nos tachos) comparativamente ao padrão dado por termômetro de mercúrio (marca Incoterm, de precisão 0,1°C). Para efeitos de acompanhamento dos desempenhos os três sensores receberam as notações colocadas na figura 9, sendo:

- $T_{\text{microproc}}$ os dados de temperatura obtidos com os sensores fixos nos tachos;

- T_{vareta} os dados de temperatura obtidos com os sensores tipo vareta;
- $T_{padr\tilde{a}o}$ os dados de temperatura obtidos com termômetro de mercúrio padrão.



Figura 7. Imagens ilustrativas dos indicadores de temperatura utilizados.

FONTE: Imagens ilustrativas dos produtos fornecidas pelos fabricantes.

Os dados obtidos para os ensaios nos dois tachos com os três diferentes tipos de indicadores encontram-se expostos na tabela 2.

Tabela 2 - Ensaios comparativos de temperatura por diferentes instrumentos.

	$T_{padr\tilde{a}o}$ (°C)	T_{vareta} (°C)	$T_{microproces}$ (°C)	$T_{padr\tilde{a}o} - T_{vareta}$ (°C)	$T_{padr\tilde{a}o} - T_{microproces}$ (°C)
Tacho 1	32,6 ± 0,1	34,1 ± 2	33,0 ± 0,7	- 1,5	- 0,4
	34,4 ± 0,1	34,1 ± 2	33,0 ± 0,7	+ 0,3	+ 1,4
	34,5 ± 0,1	34,4 ± 2	33,0 ± 0,7	+ 0,1	+ 1,5
	35,0 ± 0,1	35,4 ± 2	33,0 ± 0,7	- 0,4	+ 2,0
Tacho 2	36,0 ± 0,1	36,0 ± 2	71,0 ± 0,7	0,0	- 31,0
	36,0 ± 0,1	36,6 ± 2	72,0 ± 0,7	- 0,6	- 32,0
	36,2 ± 0,1	36,3 ± 2	71,0 ± 0,7	- 0,1	-34,8
	36,8 ± 0,1	36,0 ± 2	71,0 ± 0,7	+ 0,8	- 34,2

Avaliando o desempenho dos sensores do microprocessador, os dados deixam evidente a não confiabilidade das indicações de temperatura dadas por esse tipo de

sensor que está fixado no Tacho 2, uma vez que as diferenças das medidas comparadas ao padrão foram superiores a 30°C. Mesmo em relação ao sensor microprocessado fixado no Tacho 1, a diferença em relação ao padrão chegou a dois graus, ou seja, foi quase três vezes maior que a esperada em decorrência da imprecisão do instrumento (0,7 °C). Com isso tem-se que os únicos sensores que permitiriam a leitura da temperatura da mistura do doce enquanto em aquecimento, por estarem fixados no interior dos tachos, não são confiáveis. Entretanto, tratam-se de instrumentos de precisão ideal para essa leitura e permitiriam registros automáticos desses dados, se corretamente operacionalizados.

Tomando a análise dos sensores tipo vareta, observamos que em ambos os tachos realizaram medidas com desvio inferiores ao erro máximo de 2°C definido para o modelo. Entretanto, o uso desses instrumentos para monitoramento das temperaturas de cozimento do doce, implicariam em abertura do tacho que acarreta em perda de calor do processo e expõe o produto ao ambiente com possibilidade de contaminação. Ainda, essas leituras precisariam ser bem esporádicas, para que não houvesse interrupções retardando e encarecendo o processo (energia térmica, tempo de produção).

Considerando o depoimento dos colaboradores responsáveis pelo acompanhamento do processo de cozimento do doce, foram solicitados os registros das temperaturas obtidos durante dois meses de produção (junho e agosto), no Tacho 2. Esses dados encontram-se na tabela 3 e figura 8.

Os dados da tabela 3 foram reproduzidos a partir do documento de registro fornecido pelo chefe da seção. Observa-se que não foi fixado horário exato do dia para leitura, bem como não houve registro da data de ocorrência da leitura. As leituras foram coletadas apenas no momento em que se definia que o doce estava no ponto, segundo depoimento dos funcionários do setor. Com isso, observa-se que em um dia de produção, no máximo cinco medidas de temperatura eram feitas e, em alguns dias apenas uma leitura. Observa-se também a divergência de 8 °C (mínima 95 °C e máxima 104 °C), registradas como sendo as estabelecidas ao final do cozimento do produto. Em nenhum registro foi considerada a casa decimal, levantando-se o questionamento sobre a confiabilidade da medida e do instrumento de fato utilizado.

A figura 8 deixa mais evidente a dispersão dos dados, com destaque para a variação dos valores de temperatura final do doce durante cozimento. O responsável pelo monitoramento do tacho durante o cozimento justificou que o parâmetro controle do ponto do doce é a liga de bala formada quando “pinga” o doce cozido em água fria.

Tabela 3 - Registro do controle da temperatura do doce de leite.

<i>Dia</i>	<i>Hora</i>	<i>T (°C)</i>								
1	07:05	104,0	08:10	104,0	09:40	104,0	13:05	104,0	14:00	104
2	07:10	104,0	08:45	104,0	09:45	104,0	10:30	104,0	13:05	104
3	07:00	104,0	07:50	107,0	09:20	104,0	13:10	104,0	14:00	104
4	09:20	104,0	10:40	104,0	14:20	104,0				
5	08:08	103,0	08:50	103,0	09:50	104,0				
6	08:10	104,0	09:50	104,0	13:05	104,0				
7	08:00	98,0	09:30	99,0	10:00	100,0	13:00	101,0	14:00	100
8	08:35	96,0	09:16	98,0	10:20	99,0	11:00	100,0	13:30	100
9	07:10	103,0	08:00	103,0	09:00	103,0	10:10	103,0		
10	08:30	97,0								
11	13:05	103,0								
12	07:15	103,0								
13	08:20	103,0	09:45	102,0						
14	08:30	101,0	09:15	102,0	10:00	103,0				
15	08:30	101,0	09:10	102,0	11:00	103,0				
16	08:40	100,0	09:10	102,0	10:45	103,0	13:40	103,0	14:30	103
17	08:30	95,0	09:45	99,0	10:50	100,0	11:38	101,0	13:10	102
18	08:00	99,0	09:30	100,0	10:45	101,0	13:30	102,0	14:35	103

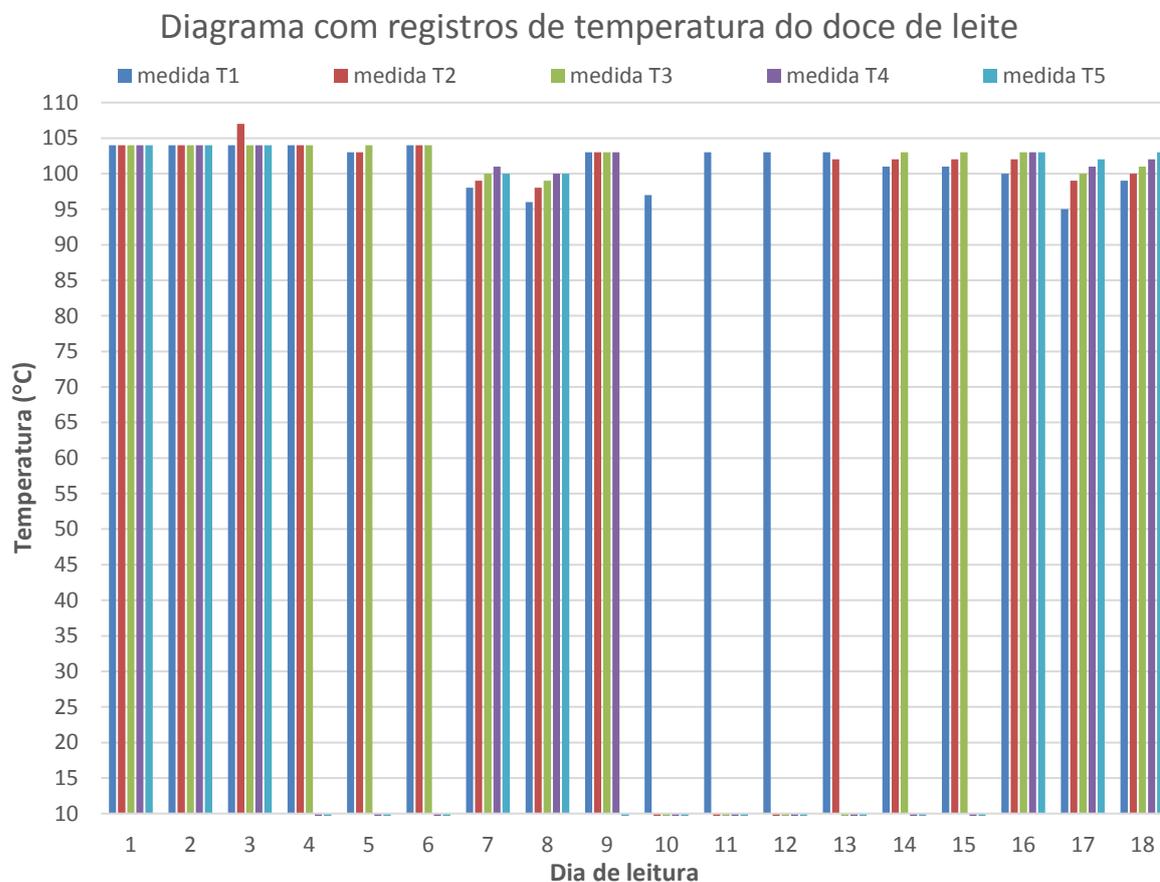


Figura 8. Temperaturas do doce de leite durante cozimento em 18 diferentes dias.

Essa metodologia adotada pela empresa para verificação do ponto final de cozimento do doce deixa o processo dependente da experiência do operador ignorando os padrões mensuráveis e controláveis de tempo e temperatura.

Reconhecendo que o ponto do doce deve ser, teoricamente, conferido pela medida do grau Brix, foi proposto ao operador a medida do Brix em paralelo com as amostragens feitas por ele para verificar a consistência da massa. A empresa possui refratômetro portátil da marca Atago® modelo Pocket PAL-2, mostrado na figura 9.



Figura 9. Imagem do refratômetro portátil da marca Atago® modelo Pocket PAL-2.

Após anotado o tempo de cozimento do doce, foram retiradas três amostras de cada um dos tachos, inseridas em copos descartáveis para realização da leitura do grau Brix (sólidos solúveis) utilizando-se o refratômetro digital de bolso já apresentado.

O tempo de coleta foi determinado pelo operador, que procedia a abertura do tacho e possibilitava a mensura da temperatura com o termômetro tipo vareta. Os dados estão na tabela 4. A amostragem progressiva para a triplicata aconteceu durante a continuidade do aquecimento do produto no tacho, o que implica em aumento também progressivo do grau Brix a cada amostragem. Observa-se um grande desvio entre as medidas, desqualificando a tomada de dados em triplicata, ou seja, é suficiente uma única amostragem.

Com o exposto sobre ao grande desvio da mensura do Brix feita em triplicata e considerando ainda que o objetivo principal é buscar uma evidência da correlação entre essa variável e o ponto ideal de cozimento do doce, optou-se por fazer as medidas de teor de sólidos com uma única amostragem.

Tabela 4 – Leituras do grau Brix feitas em triplicata.

Temperatura Ambiente (°C)	Tempo Cozimento (minutos)	Temperatura Cozimento (°C)	Grau Brix 1	Grau Brix 2	Grau Brix 3	Grau Brix média	Massa doce (kg)
18,0	35	111,7	88,2	94,7	99,3	94 ± 6	146,6
18,3	33	112,4	87,9	93,5	98,9	93 ± 6	148,7
17,8	41	111,6	88,7	95,1	99,1	94 ± 5	148,0
18,4	37	112,0	88,2	94,3	99,6	94 ± 6	133,0
18,7	33	112,3	88,5	96,7	99,7	95 ± 6	147,0

Como os tachos não possuem isolamento térmico, foram anotadas as temperaturas ambiente e de cozimento. Utilizou-se o termômetro digital tipo vareta, já descrito. O tempo foi cronometrado e grau Brix mensurado em simultaneidade. As amostragens do doce para monitoramento dessas variáveis foram feitas nos momentos em que o operador do tacho definia como sendo suficiente para verificação do ponto de cozimento. O teste feito pelo operador, consistia na abertura do tacho para retirada da amostra do doce, inserindo-se uma quantidade equivalente a uma colher de chá do doce em um balde contendo água fria.

O ponto final de cozimento era caracterizado como o da formação de uma massa consistente que não aderisse aos dedos, recebendo o veredito “OK”. Caso contrário, o tacho era fechado para continuidade do aquecimento até nova amostragem após tempo suposto suficiente. Esses dados foram coletados ao longo de 9 diferentes dias de produção e encontram-se listados na tabela 5.

A tabela 5 traz a informação sobre as condições climáticas durante os dias de produção. Os dados foram organizados entre os dias chuvosos e os dias ensolarados, verificando-se que não houve tendência de influência desses parâmetros sobre as variáveis do doce.

Quando correlacionamos os tempos de cozimento para o grau Brix nos pontos estabelecidos pelo operador como finais do processo de cozimento (“Ok”), observa-se que estão diretamente associados.

Tabela 5 – Parâmetros monitorados durante cozimento do doce de leite.

<i>Clima</i>	<i>Dia</i>	<i>Temperatura Ambiente (°C)</i>	<i>Tempo Cozimento (minutos)</i>	<i>Temperatura Cozimento (°C)</i>	<i>Grau Brix</i>	<i>Veredito do operador</i>
<i>Chuvoso</i>	1	17,0	35	111,7	96,2	<i>não</i>
		17,3	41	112,4	95,1	<i>não</i>
		17,6	50	113,8	92,7	OK
	2	17,9	31	112,3	94,4	<i>não</i>
		18,4	37	112,9	93,8	<i>não</i>
		18,6	44	113,8	92,6	OK
	3	19,4	20	112,4	95,1	<i>não</i>
		19,7	28	116,5	88,9	<i>não</i>
		20,1	30	117,4	88,8	OK
	4	21,1	12	113,8	92,1	<i>não</i>
		21,7	13	116,9	88,6	<i>não</i>
		21,9	29	121,6	83,1	OK
	5	23,8	14	117,6	88,4	<i>não</i>
		24,1	21	119,1	85,1	<i>não</i>
		24,3	29	121,1	84,0	OK
<i>Ensolarado</i>	6	17,1	14	112,6	94,0	<i>não</i>
		17,7	21	113,9	92,6	<i>não</i>
		18,1	49	115,0	89,0	OK
	7	18,8	19	116,8	88,5	<i>não</i>
		19,0	30	117,3	88,7	<i>não</i>
		19,9	36	118,5	88,1	OK
	8	21,8	12	118,1	87,2	<i>não</i>
		22,7	20	119,3	85,7	<i>não</i>
		24,1	31	121,9	83,1	OK
9	25,2	16	115,9	88,3	<i>não</i>	
	25,8	30	118,9	87,0	<i>não</i>	
	25,8	35	120,0	85,6	OK	

A Figura 10 demonstra a comparação entre o tempo de cozimento e graus brix para doce de leite ao final do processo de evaporação.

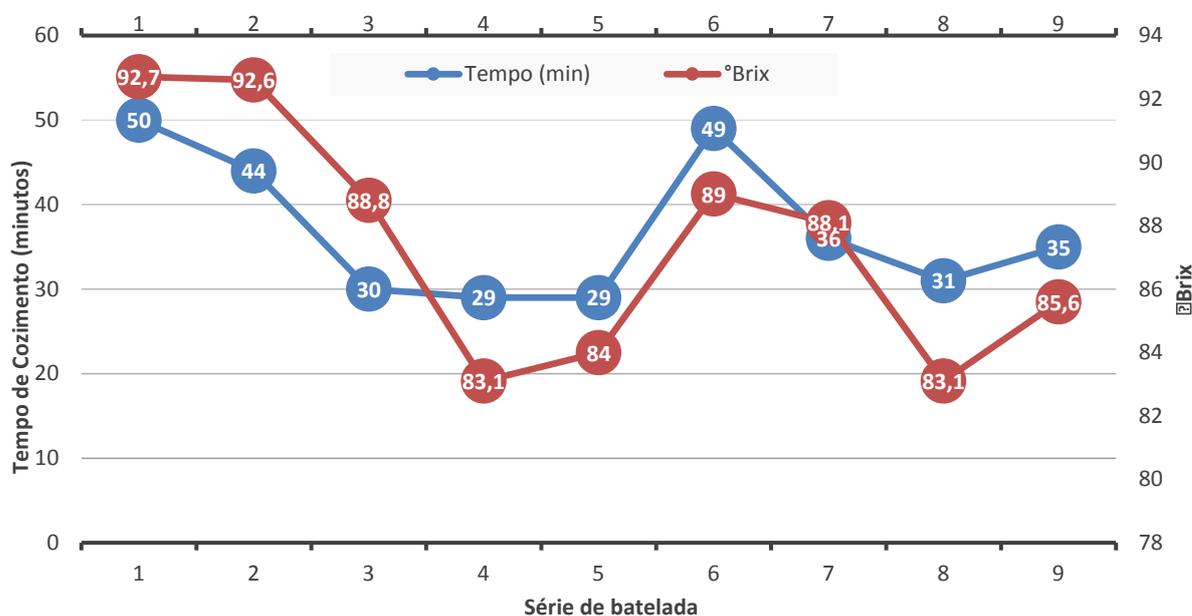


Figura 10. Comparação entre tempo de cozimento e graus brix para doce de leite ao final do processo de evaporação.

A partir do ensaio realizado pode-se concluir que as variáveis tempo de cozimento e graus brix podem ser correlacionadas, de forma que quanto mais tempo o doce permanece em cozimento a tendência é de aumento do graus brix.

A figura 11 representa a comparação entre temperatura de cozimento e graus brix para doce de leite ao final do processo de evaporação.

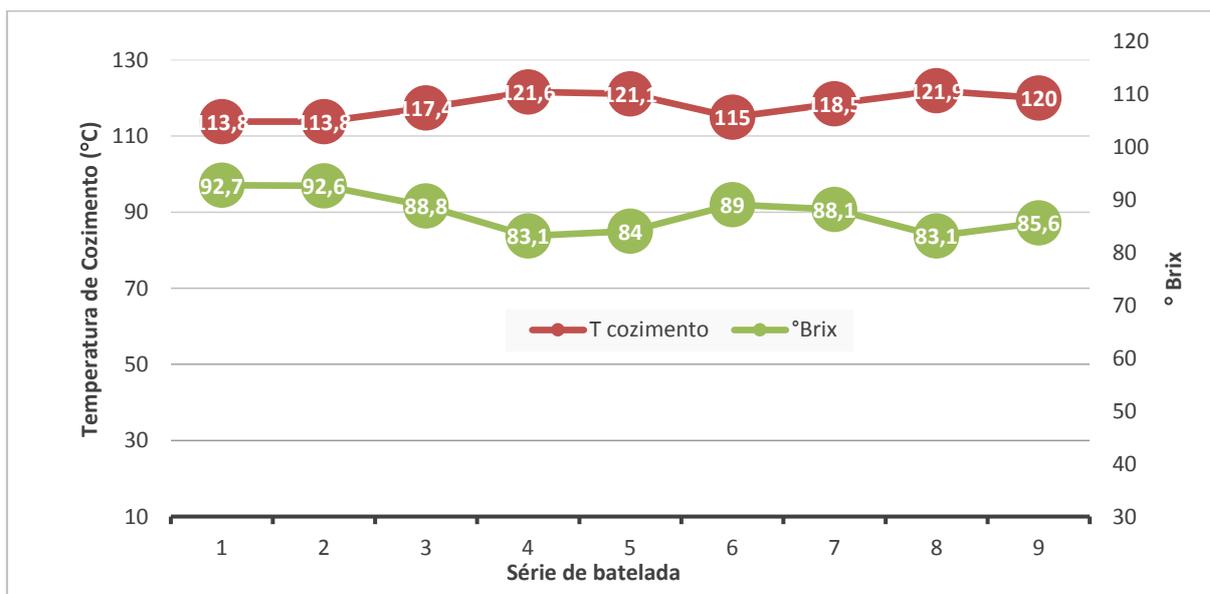


Figura 11. Comparação entre temperatura de cozimento e graus brix para doce de leite ao final do processo de evaporação.

A Figura 11 demonstra que as variáveis temperatura de cozimento e graus brix não possuem correlação, isto se dá devido as condições do experimento. A amostra foi retirada quando o operador assegurava que o doce estava no ponto final de cozimento, porém nesta etapa o doce que ainda estava dentro do tacho passava por variações de temperatura pois a fabricação do doce se dá de forma contínua.

Outra condição observada que pode ter influenciado no experimento, seria a troca térmica da amostra retirada do tacho com a temperatura ambiente, visto que a medida que ocorria a troca térmica entre o doce e o ambiente a leitura era dificultada devido a sua mudança de textura (ou seja, o doce que antes se apresentava de forma pastosa apresentou aspecto endurecido). Uma sugestão para solucionar este problema seria retirar a amostra e armazená-la em banho maria em temperatura próxima a registrada no ponto de retirada do doce até que fosse realizada a análise.

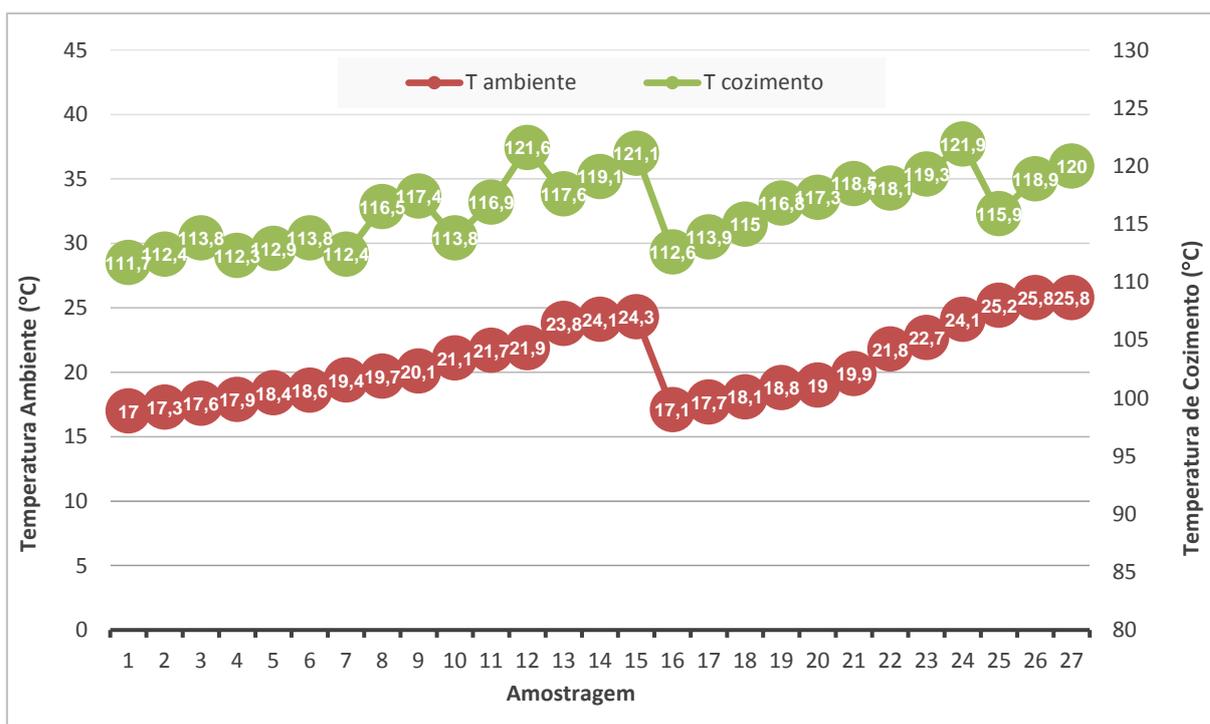


Figura 12. Comparação entre Temperaturas ambiente e de cozimento do doce de leite para diferentes amostragens.

O diagrama com valores para temperatura ambiente e temperatura de cozimento, visto na figura 12, durante diferentes amostragens, torna evidente a oscilação da temperatura de cozimento em função da temperatura ambiente. Esse fato está provavelmente relacionado a falta de isolamento térmico no tacho, indicando a necessidade de isolante. Esse revestimento na redução da perda de energia, uma vez que a manutenção da temperatura implica em maior injeção de vapor e, com isso, aumentaria a eficiência energética do procedimento de fabricação do doce. Observou-se que as derivações de vapor que chegam ao tacho também não possuem revestimento, aumentando a área de dispersão do calor do vapor direcionado para o tacho por essas tubulações e ainda pelas válvulas e acessórios presentes no trecho.

Registrou-se ainda na linha de produção, o calor excessivo relatado pelos funcionários que operavam os tachos. Considerando que o organismo humano funciona como uma máquina, tendo sua temperatura central regulada pelo hipotálamo que responde a qualquer alteração térmica, a temperatura do corpo ativa mecanismos internos de compensação, entretanto, embora o corpo se adapte ao meio, os limites de temperatura interferem consideravelmente no bem-estar das pessoas (SILVA & ALMEIDA, 2010). Silva (2016) registrou que principalmente a partir de 30°C, a velocidade do trabalho diminui, as pausas se tornam maiores, a propensão a acidentes aumenta e a concentração diminui. Comprovando essa teoria, os colaboradores relataram as dificuldades na agilidade dos trabalhos e queimaduras frequentes ocorridas nos equipamentos de evaporação do doce de leite. Ainda sustentando a necessidade de providências no processo estudado, o Anuário Brasileiro de Proteção (2007) reconheceu que o atendimento às condições de conforto dos ambientes de trabalho de indústria produtoras de alimentos são fatores que podem contribuir para a redução do desgaste físico e emocional dos trabalhadores e, conseqüentemente, pode reduzir os índices de acidentes de trabalho neste setor, que possui atualmente os maiores índices registrados, com 8,91% dos casos. Em suma, os isolamentos diminuem as perdas de calor e otimizam o processo, reduzindo os gastos energéticos sendo altamente indicados. Neste intuito, calculou-se a espessura e quantidade de isolantes necessários para esta retificação do sistema. para a análise de custo foi consultada a empresa Armacell localizada na cidade de Curitiba.



Figura 13. Corte esquemático de um tubo espesso revestido por isolamento térmico.

O trecho de tubo sem isolamento é de 2,0 m para percurso de cada tacho, totalizando 4,0 m e com bitola de $\frac{1}{2}$ polegada (1,3 cm). O tacho foi considerado, por aproximação, um cilindro de altura 1,0 m com largura de 1,0 m. O isolante tomado para análise de investimento de revestimento no tubo foi o Armaflex® modelo AF U 022, com 44 mm de espessura, orçado em R\$ 63,21/m. Para o tacho, cotou-se a manta térmica marca Armaflex® modelo C1 32 CE, com espessura 32 mm e largura de 1,0 m, orçada em R\$ 91,38/m de comprimento. Com isso estimou-se serem necessários 3,14 m de manta para cada tacho, resultando aproximadamente 6,3m para os dois tachos. Considerando eventuais perdas, indica-se a compra mínima de 7 m da manta num total de R\$ 703,63 (com ICMS e IPI inclusos). Para o revestimento dos 4,0 m de tubo recomenda-se a compra mínima de 10 m (metragem limitante do fabricante) totalizando R\$ 695,31 (com ICMS e IPI inclusos). Para garantia da resistência mecânica e ainda proteção contra umidade e fogo direto recomenda-se o revestimento com folha de alumínio que incrementará o custo em 128,00. O investimento com isolante térmico incluindo o adesivo selante e o envoltório externo para proteção mecânica totalizaria R\$ 1701,07.

Ainda em relação ao processo, após o aquecimento no tacho o doce liberado na esparramadeira era depositado na mesa de aço inoxidável para nivelamento e cortes com régua. Entretanto, conforme acompanhou-se, em dias frios a primeira batelada depositada nas mesas açucarava, sendo descartada para reprocessamento.

Essa ocorrência poderia ser evitada com um pré-aquecimento dessas mesas. Esse pré-aquecimento seria possível com a troca de calor indireta do inferior da mesa

com o condensado recolhido dos tachos. A viabilidade dessa proposta não foi estimada, uma vez que seria necessário um levantamento dos custos de usinagem de tubos ou depósitos na superfície das mesas, bem como de perdas de carga adicionais desse percurso.

6. CONCLUSÃO

A indústria tomada como referência ao estudo possui instalações adequadas ao processamento, com capacidade de produção facilitada pelo bom estado dos equipamentos e alta capacidade de produção de calor para os processos principais. Cabe ressalva quanto a instrumentação adequada dos processos. Entretanto, existe um desconhecimento e descrédito dos colaboradores quanto a operacionalidade dos sensores, sendo os mesmos negligenciados e necessitando de calibração, associação eletrônica para monitoramento e, ainda, treinamento de pessoal.

Observou-se que os parâmetros de qualidade do doce são dependentes experiência do operador, sendo negligenciados por desconhecimento as variáveis tempo, temperatura e pressão de cozimento do doce. Neste sentido, torna-se urgente a parametrização após a adequada instrumentação.

A inexistência de isolamento térmico em parte da tubulação de derivação e no tacho de cozimento deve ser corrigida para que se tenha eficácia de cozimento, eficiência térmica e prevenção de acidentes.

A previsão de custo da adequação do processo seria a relativa a compra do isolamento (cerca de R\$ 1701,07), correção, calibração e treinamento para operacionalização dos instrumentos (dependente da empresa contratada).

A presença de um Engenheiro de Alimentos trabalhando em conjunto com o pessoal operacional ou prestando assessoria técnica é indicada para essas e novas ações que implicam diretamente no lucro da empresa.

7. REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO. **Estatística**. MPF Publicações. Novo Hamburgo, RS, 2007.

ALMEIDA, J.V.S. **Remoção de oxigênio dissolvido da água de alimentação de uma caldeira de alta pressão em uma indústria de celulose**. (Dissertação para conclusão de curso). Porto Alegre, 2014.

ALTAFINI, C.R. **Apostila sobre caldeiras**. Curso de engenharia mecânica, disciplina de máquinas térmicas. Caxias do Sul, 2012.

BARBOSA, C. R; ANDREAZZI, M. A. **Intolerância à lactose e suas consequências no metabolismo do cálcio**. V mostra interna de trabalhos de iniciação científica, Maringá, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária, Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Portaria N.0 354, de 4 de setembro de 1997. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/das/dipoa/port354.html> Acesso em: 16 nov. 2000.

BUECKER, B. **Water treatment – the continuing battle against FAC**. Power Engineering, v. 106, n.9 , p.32-34, Sep 2002.

CARVALHO, R.F. **Doce de leite pastoso e em barra**. Rede de tecnologia da Bahia – RETEC/BA, 2007.

CASTRO, F.A. **Doce de leite**. NUTEC, Série implantação microempresa. Fortaleza – CE, 1985.

CHIARANTANO, Cláudio; SANTANA, Fernanda de Fátima. **Economizadores e Superaquecedores de Caldeiras**. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2008.

ELÉTROBRAS. **Instrumentação e controle: guia básico**. Brasília: IIEL/NC, p. 218, 2008.

FARAHBOD, F. **Investigations to find appropriate range of pH and a new replacement for hydrazine to protect corrosion in steam-tanks of petrochemical industries**. Engineering failure analysis, junho, 2012. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS: 000302927300005>.

FLAUZINO, R.D. **Influência da temperatura e do teor de gordura nos parâmetros reológicos do leite condensado e creme de leite**. 2007. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos) -Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, SP, 2007.

FRANCO, P. R. **Doce de leite é aposta para aumentar rentabilidade e agregar valor à pecuária leiteira**. Agropecuário , 2015. Disponível em: http://www.em.com.br/app/noticia/agropecuario/2015/08/10/interna_agropecuario,676831/lucros-adocicados.shtml. Acesso em: 29 de abril de 2017.

FROZZA, M. DECOL, A. **Linha de retorno para condensado e automação da linha de vapor** (Dissertação para conclusão do curso). Pato Branco, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012, pg 10.

JAIN, A.K. **An approach towards efficient operation of boilers**. International journal of scientific & engineering research, 2012.

KLUG, T.B. **Controle de Qualidade em Doces**. Relatório final de estágio do curso de Química de alimentos, para obtenção do título de Bacharel em Química de alimentos. Pelotas, 2007.

LAGUNA, L.E.; EGITO, A.S. **Fabricação de doce de leite de cabra tipo pastoso**. Sobral: Embrapa Caprinos, 1999.19p. (Embrapa Caprinos. Circular Técnica, 22).

LEITE, C,B,F. **Inspeção e manutenção do sistema de purgadores de uma fábrica de pneus para redução do consumo de energia.** (Dissertação para conclusão do curso). Rio de Janeiro. Centro Universitário Estadual da Zona Oeste. 2013, pg 4.

MADRONA, G.S; ZOTARELLI, M.F; BERGAMASCO.R. **Estudo do efeito da adição de soro de queijo na qualidade microbiológica do doce de leite pastoso.** Revista brasileira de tecnologia agroindustrial. Ponta Grossa, 2008.

MELLO, A.L. **Principais causas em acidentes com caldeiras.** Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Pró Reitoria de Pós-graduação. Centro universitário do Maranhão. São Luiz, MA, 2010.

MESQUITA FILHO, J. A. **Fabricação do doce de leite.** In: Série Implantação Microempresa, 30. Fortaleza: NUTEC, 1985. 36P.

MILCENT, P.F, **Noções de isolamento térmico de tubulações.** Rev melhorada, Curitiba, 2007.

NOGUEIRA, Luis Augusto Horta. **Eficiência Energética no Uso de Vapor.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia em alimentos: alimentos de origem vegetal.** Porto Alegre: ABDR, 2005.

PALACIOS, J.L. **Técnicas de gestión energética en sistemas de vapor.** Laboratorio de energias alternativas y eficiencia energética – Escuela Politécnica Nacional. Quito, 2010.

PEDERIVA, A.C; MATTIONI.R. **Estudo para melhoria da eficiência de uma tubulação de vapor para uma fábrica de ração animal.** Monografia apresentada a fim de obtenção do grau de engenheiro mecânico, Horizontina, 2013.

PEREIRA, M.P; ROCUMBACK, D.M; KIYUNA P.M.L; TERRONE, C.C; MARINO, A.L.F; BRAGA, C.M P; FERNANDES, L.G.V; SPOTO, M.H; BERNARDI, M.R.V. **Análise sensorial de doce de leite pastoso e em barra: comparação entre marcas.** Rev. Nutrição Brasil. São Carlos, 2012.

PERRONE, I.T.; STEPHANI, R; NEVES, B.S. **Doce de Leite Aspectos Tecnológicos.** 1ed. Juiz de Fora: Do autor, 185p. 2011.

PERRONE, I.T; STEPHANI.R; NEVES,B.S; SÁ,J.F.O; CARVALHO, A.F. **Atributos tecnológicos para produção do doce de leite.** Revista Instituto Laticínio Cândido Tostes. Viçosa, 2012.

PORTZ, A. J.**Avaliação da presença de resíduos de antibióticos e da qualidade microbiológica em leites cru e beneficiado no distrito federal.** Monografia apresentada a fim de obter o grau de médico veterinário. Brasília, 2011.

RAJAKOVIC, O.V.N.**Improvement of chemical control in the water-steam cycle of thermal power plants.**Applied Thermal Engineering, jan 2011.

SENAR. Iogurte, bebidas lácteas e doce de leite: **Produção de derivados do leite.** Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. 2 ed. Brasília: SENAR, 2010.

SILVA.C.C,A. **Conservação e gerenciamento de energia em sistemas de vapor** (Dissertação para conclusão do curso). Campo Mourão, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013, pg 35.

SILVA, F. T. **Doce de leite.** AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica 2016. Disponível em:
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000girl7f3902wx5ok05vadr14mvyuve.html; Acesso em: 10 de setembro de 2016.

SILVA, T.L, ALMEIDA. V.C. **Influência do calor sobre a saúde e desempenho dos trabalhadores.** Simpósio Maringaense de Engenharia de Produção. Maringá, 2010.

SOARES, K.M.P; SOUZA, J.L.M; GOIS, V.A; AROUCHA, E.M.M. **Fatores que interferem na qualidade do doce de leite pastoso: Revisão de literatura.** PUBVET, Londrina, V.4, N.6, Ed. 111, Art. 748, 2010.

TRONCO, V.M. **Manual para inspeção da qualidade do leite.** 3. Ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

VIEIRA, L.C; JÚNIOR, J.B.L. **Tecnologias de fabricação dos Doces de Leite Pastoso em Tabletes.** Comunidade Técnico, p.1, Belém, 2004.