

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

JORDANA NARESSE BORTOLOTI

**MAPEAMENTO E DIMINUIÇÃO DE PERDAS DE
SACAROSE NO CIRCUITO DE ÁGUA NO
MULTIJATO DO PROCESSAMENTO DE
FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL EM UMA
USINA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO
PAULO: ESTUDO DE CASO**

BAURU
2017

JORDANA NARESSE BORTOLOTI

**MAPEAMENTO E DIMINUIÇÃO DE PERDAS DE
SACAROSE NO CIRCUITO DE ÁGUA NO
MULTIJATO DO PROCESSAMENTO DE
FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL EM UMA
USINA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO
PAULO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências
Exatas e Sociais Aplicadas como
parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia
Química, sob a orientação da Prof^a.
Ma. Raquel Teixeira Campos.

**BAURU
2017**

B7393m

Bortoloti, Jordana Naresse

Mapeamento e diminuição de perdas de sacarose no circuito de água no multijato do processamento de fabricação de açúcar cristal em uma usina no interior do estado de São Paulo: Estudo de caso / Jordana Naresse Bortoloti. -- 2017.

31f. : il.

Orientadora: Prof.^a M.^a Raquel Teixeira Campos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)
- Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Perdas de Sacarose. 2. Colunas Barométricas. 3. Inversão Ácida. 4. Inversão enzimática. 5. Ferramentas da Qualidade. I. Campos, Raquel Teixeira. II. Título.

JORDANA NARESSE BORTOLOTI

**MAPEAMENTO E DIMUIÇÃO DE PERDAS DE
SACAROSE NO CIRCUITO DE ÁGUA NO
MULTIJATO DO PROCESSAMENTO DE
FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL EM UMA
USINA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO
PAULO :ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências
Exatas e Sociais Aplicadas da
Universidade do Sagrado Coração
como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Química, sob a
orientação da Prof^a. Ma. Raquel
Teixeira Campos

Banca examinadora:



Prof^a. M^a. Raquel Teixeira Campos
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Marcelo Telascrêa
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 21 de dezembro de 2017.

MAPEAMENTO E DIMINUIÇÃO DE PERDAS DE SACAROSE NO CIRCUITO DE ÁGUA NO MULTIJATO DO PROCESSAMENTO DE FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL EM UMA USINA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO : ESTUDO DE CASO. Jordana Naresse Bortoloti.¹

RESUMO

Esse trabalho trata-se de um estudo de caso que foi realizado numa usina de processamento de cana-de-açúcar no interior de São Paulo, especificamente na indústria de produção de açúcar cristal. Tem como objetivo o mapeamento das perdas de sacarose que ocorrem pelo arraste de gotículas de caldo e xarope juntamente com o vapor nos processos de evaporação e cozimento para a fabricação de açúcar cristal e contaminam a água das colunas barométricas utilizadas nestes equipamentos, conhecidas também como circuito de água no multijato. O trabalho traz também as diferentes perdas de sacarose numa usina sucroalcooleira que prejudicam a fabricação, o rendimento e a qualidade do produto final: o açúcar. Estas três perdas que serão vistas nesse trabalho podem ser: a inversão ácida, inversão enzimática e inversão microbiana. Além disso, foi realizado neste trabalho, um plano de ação com aplicação de ferramentas da qualidade para a mensuração e diminuição das perdas da sacarose no circuito de águas no multijato. Dentre os resultados obtidos, foi a redução de 20% de perdas em Açúcares Redutores Totais (ART) em todo o circuito de águas no multijato, o que equivale a 20280,31 em sacas de açúcar.

Palavras-chave: Perdas de Sacarose. Colunas barométricas. Inversão ácida. Inversão enzimática. Ferramentas da qualidade.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de açúcar proveniente da cana. Fatores que explicam isto estão relacionados com a qualidade da matéria-prima e com as condições ambientais propícias para a maturação deste vegetal.

¹ Graduanda em ENGENHARIA QUÍMICA pela Universidade do Sagrado Coração (USC).
jordanabortoloti@hotmail.com

A qualidade da matéria-prima está intrinsicamente ligada a variedade da cana-de-açúcar, pois cada variedade possui uma porcentagem de compostos que influenciam na deterioração desta, e conseqüentemente prejudicam o processamento e a recuperação de sacarose na forma de cristais de açúcar. (ALBUQUERQUE, 2011).

Para se produzir um produto final, o açúcar, de excelente qualidade, além desses fatores limitantes para o melhor processamento da cana-de-açúcar, é necessário ter um bom tratamento de caldo, com parâmetros de processo, como temperatura de aquecimento do caldo bem controlados e dosagem adequada de insumos para uma melhor clarificação. Isto resultará na melhor eficiência das etapas posteriores do processo como: a evaporação do caldo, o cozimento do xarope e cristalização da massa. (LIMA, 2012).

Porém, todas as etapas do processo, sejam elas químicas ou físicas estão suscetíveis a perdas de sacarose. Estas perdas inerentes a todo processo devem ser as mínimas possíveis, afinal, toda sacarose não processada em uma usina de açúcar acaba repercutindo de modo negativo no planejamento e controle de produção, ou seja, na rentabilidade econômica da mesma.

Segundo Bhatnagar et al. (2016), as perdas mais comuns e que são eliminadas em efluentes, com a utilização de água, podem ser analisadas na etapa anterior da extração do caldo, conhecida como a lavagem da cana; na água refrigerada utilizada para o abastecimento e formação da pressão negativa nas colunas barométricas ou multijato nos processos de evaporação e cozimento localizados nas fábricas de açúcares das usinas.

As perdas de sacarose podem ser de características físicas e por deterioração da mesma. Vazamentos de caldo, xaropes, méis, mal engaxetamento de bombas, transbordos de tanques e equipamentos, arrastes em evaporadores, cozedores e filtros e ART alto na torta são exemplos de perdas físicas. Já as perdas por deterioração da sacarose são classificadas em três especificações diferentes: inversão ácida, inversão enzimática e inversão microbiana. (REIN, 2013).

Portanto, todas estas perdas afetam a parte econômica da Usina. Rein (2013) destaca ainda que na evaporação do caldo, as gotículas de caldo em ebulição dentro dos evaporadores estão propensas a serem arrastadas com o vapor, contaminando a água que alimenta as colunas barométricas para a

formação da pressão negativa nos sistemas de concentração do caldo pela eliminação da água presente neste. Esta perda é mensurável, desde que tenham amostradores nos sistemas de evaporação e cozedores, porém não é possível recuperar a sacarose perdida neste processo.

De acordo com Cooke e Lewis (2013), todo processo industrial para ser eficiente deve ser gerenciado. E uma das ferramentas da qualidade mais usadas para o gerenciamento de processos é o ciclo PDCA que consegue auxiliar na melhoria do processo de forma estruturada, utilizando ferramentas da qualidade que facilitam a identificação dos erros e contribuem com a redução de custos e aumento da produtividade.

O objetivo deste trabalho é mensurar e identificar as perdas de sacarose no processo de evaporação e como a utilização de ferramentas da qualidade bem aplicadas nos processos de evaporação e cozimento podem minimizar as perdas por arraste na produção de açúcar, uma vez que para se produzir mais açúcar é necessário diminuir as perdas de sacarose (ART) no circuito de águas no multijato, e consequentemente aumentar a renda líquida da Usina onde foi aplicado este trabalho.

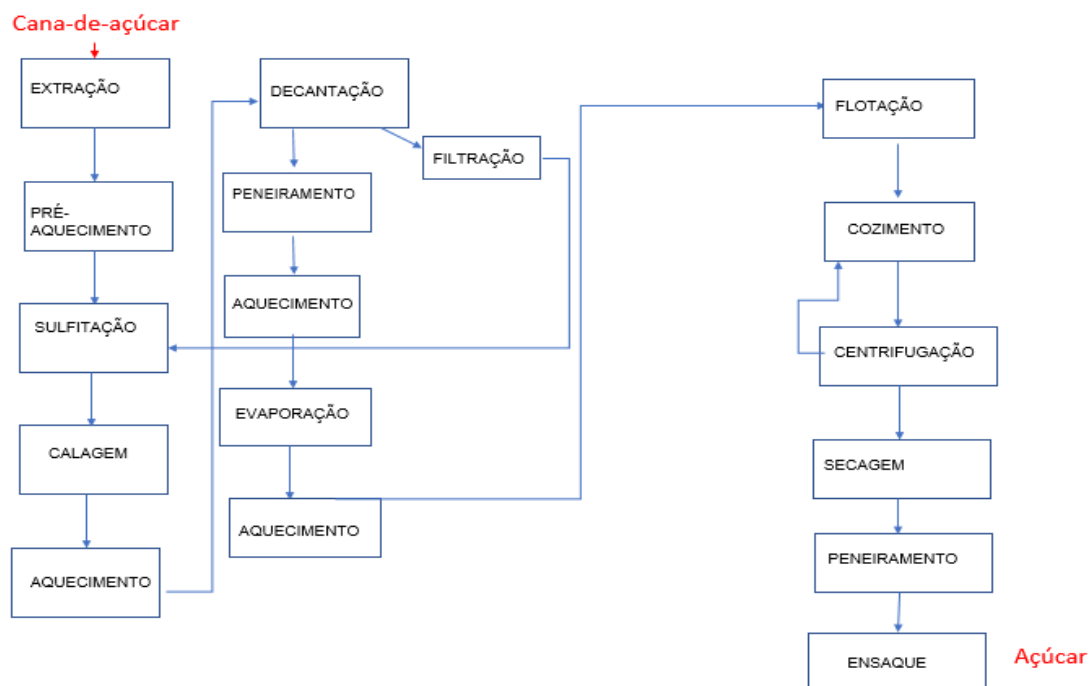
2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL

Nesta seção serão descritas todas as etapas físicas e químicas da transformação do caldo da cana-de-açúcar já extraído nas moendas para a formação de açúcar cristal. Destacar-se-á ainda os parâmetros de processos que devem ser controlados para um melhor rendimento e uma melhor qualidade do produto final, além de fatores relevantes para a minimização da perda de sacarose em toda a cadeia produtiva.

O processo de fabricação de açúcar cristal nas Usinas demanda etapas físicas e químicas bem controladas, assim como a matéria-prima, cana-de-açúcar, de boa qualidade e dentro dos padrões técnicos exigidos para atingir um produto final, o açúcar, que atenda as exigências do mercado consumidor. Por ser tratar de um insumo de gênero alimentício, é necessário que traga ainda toda a segurança alimentar e as boas práticas de fabricação (BPF) em todas as etapas de processamento. (REIN, 2013).

Para a fabricação de açúcar cristal, é necessária uma excelente clarificação do caldo para remoção de partículas que influenciarão na cor do produto final e também de um processo de flotação do xarope bem controlado conforme pode ser analisado na Figura 1. (ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 1 – Fluxograma de processo de fabricação de açúcar cristal.



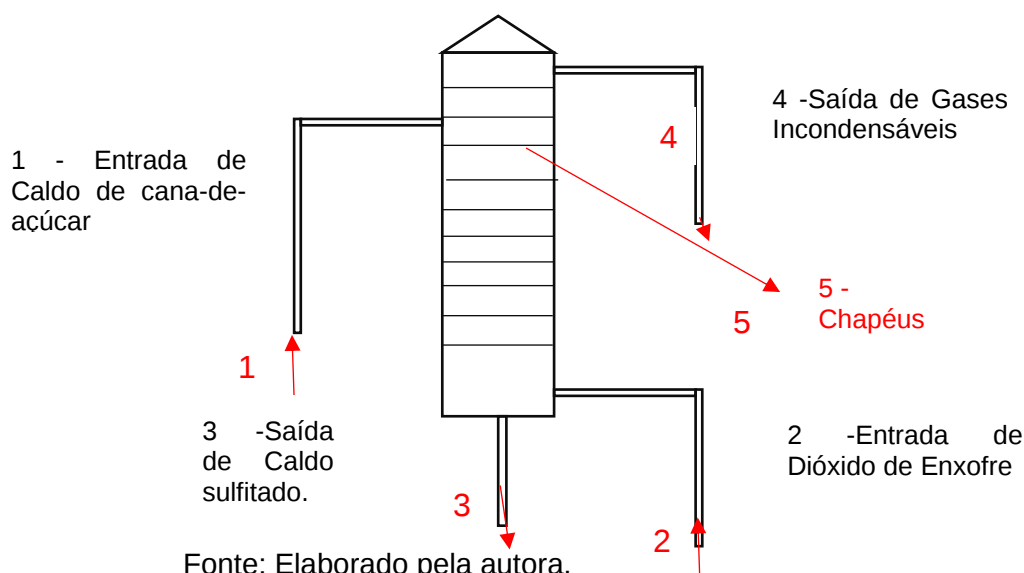
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 1, após o processo de extração da cana-de-açúcar, o caldo proveniente da moagem, é armazenado em um tanque “pulmão” e bombeado para trocadores de calor de placas, onde farão o pré-aquecimento dele, utilizando como fluidos de trocas térmicas a vinhaça e a água condensada. Nesta etapa, é fundamental que o caldo atinja aproximadamente 65° C. Para que isso aconteça, realização do *Cleaning in Place* (CIP) dos trocadores de calor devem ser feitos com frequência na planta. Posteriormente, o caldo pré-aquecido passa pelo processo de sulfitação. (ARAÚJO, 2005).

Ressalta ainda, Araujo (2005), conforme a Figura 1, que na sulfitação, o enxofre na sua forma de matéria sólida, é queimado em fornos rotativos, a aproximadamente 250°C. A Reação de combustão, exotérmica, produz dióxido de enxofre (SO₂), e entrará em contato com o caldo da cana-de-açúcar em colunas de absorção. Neste equipamento, por contato indireto, o caldo entra na parte superior da coluna, conforme indicado na Figura 2, e o gás entra na parte inferior da coluna, os “chapéus”, como visto na Figura 2, são chapas de aço inox

perfuradas que servem para aumentar a superfície de contato entre os dois fluidos, aumentando consequentemente a absorção do gás sulfuroso no caldo da cana-de-açúcar.

Figura 02 – Coluna de Sulfitação



O objetivo da sulfitação é otimizar a clarificação do caldo conforme pode ser visto na Figura 1 no processo de decantação e também diminuir a viscosidade da massa no cozimento conforme também identificado na Figura 1. O autor destaca que uma das consequências da sulfitação é a acidificação do caldo, ou seja, pelo fato do dióxido de enxofre (SO_2) possuir caráter ácido, ele reduz o pH do caldo da cana-de açúcar de aproximadamente 5,5 para valor inferior 3,5. Desta forma, a dosagem deste insumo deve ser muito bem controlada, de modo que se consiga um pH entre 4,4 a 4,6, pois a sacarose em meio muito ácido, tende a inverter em dois monossacarídeos, a glicose e a frutose impossibilitando a formação dos cristais de açúcar. (REIN, 2013).

No processo de caleação, de acordo com a Figura 1, Rein (2013) destaca a importância da adição do leite de cal para a correção do pH do caldo sulfitado para neutro, com efeito próximo a 7,0 para abortar a possibilidade de inversão da sacarose e também facilitar a decantação de fosfato de cálcio ($\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$) presente na forma de partículas sólidas no caldo da cana-de-açúcar.

Lima (2012), destaca a importância do aquecimento do caldo e da adição de poliacrilamidas (polímero aniônico) para uma eficiente decantação.

Ainda há a recuperação do caldo, conforme a Figura 1, que ficou retido no lodo dentro dos decantadores. Para conseguir recuperar esta parcela de caldo, é necessário realizar a filtração à vácuo do lodo, na qual se obtém caldo filtrado, que será retornado ao processo, no tanque “pulmão”, e a torta, muito utilizada na fertilização da cana-de-açúcar na lavoura.

Uma etapa exclusiva para a produção de açúcar cristal, diferente da produção de açúcares como o *Very Very High Polarization* (VVHP) e *Very High Polarization* (VHP) é o peneiramento do caldo decantado elucidado na Figura 1. O peneiramento do caldo decantando é realizado em peneiras rotativas que tem como o objetivo segregar ainda, bagacilhos ou bagacinhos que não conseguiram serem decantados nos decantadores. Este processo é exclusivo para a produção de açúcar cristal, pois o que diferencie ele de um açúcar VVHP e um VHP são os parâmetros de cor, pontos pretos e partículas magnéticas estabelecidos no *Codex Alimentarius*, manual de segurança e qualidade de produtos alimentares seguido pela Organização Mundial de Comércio (OMC). (ALBUQUERQUE, 2011).

Na Figura 1, etapas consecutivas para a fabricação de açúcar como a evaporação, flotação, cozimento, centrifugação e secagem, devem ter como por exemplo, o °Brix dentro dos parâmetros pré-estabelecidos, pois este é um dos parâmetros que quando bem controlado é precursor para a formação dos cristais de açúcar, além de outros como pressão negativa, injeção de semente e temperatura. (ALLES, 2013).

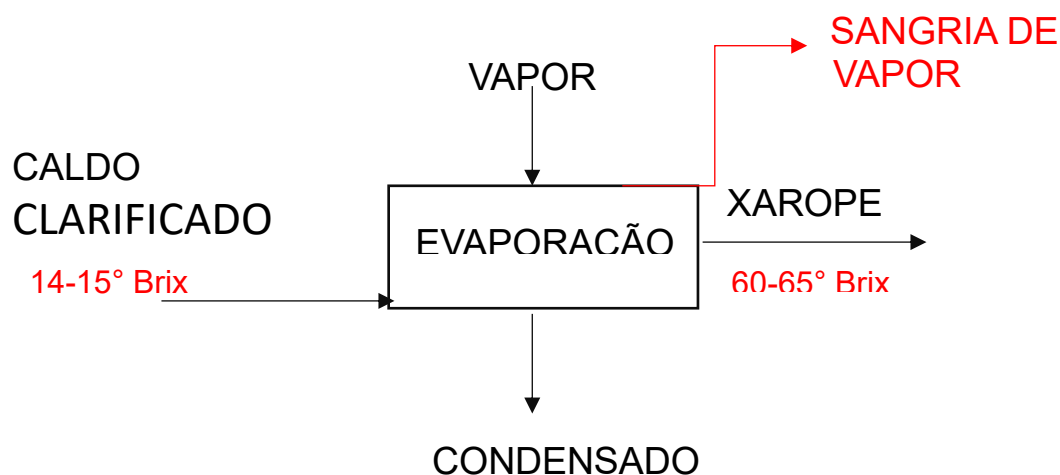
2.1 PROCESSO DE EVAPORAÇÃO

Após todo o tratamento do caldo da cana-de-açúcar, a primeira etapa que ocorre nas fábricas de açúcar é a evaporação do caldo clarificado. A evaporação do caldo da cana-de-açúcar tem como objetivo a eliminação da maior parcela de água presente neste, concentrando-o para a posterior formação dos cristais de açúcar na etapa do cozimento das massas. Trata-se do processo de uma usina de fabricação de açúcar que mais consome energia na forma de vapor, e também que é responsável pela produção de vapores de menor pressão como o vapor vegetal 1 (VG1) e o vapor vegetal 2 (VG2) sangrados nos efeitos das evaporações e utilizados em outros processos dentro da fábrica de açúcar como

o aquecimento do caldo em aquecedores casco e tubo, no cozimento de açúcar e também na produção de etanol, nas destilarias, como por exemplo na destilação do vinho em colunas de destilação. (SRIVASTAVA et al., 2015).

A Figura 3 elucida como funciona a evaporação do caldo em evaporadores de múltiplos efeitos e como este processo ocorre dentro de uma fábrica de açúcar. Nos evaporadores, aparelhos onde ocorrem a troca térmica entre o vapor e o caldo clarificado, evaporando a água presente neste, tem como *input* o caldo clarificado com um °Brix de aproximadamente 15, pois este varia de acordo com a qualidade da cana-de-açúcar e o vapor. O vapor, que realizará a troca térmica, pode ser tanto o vapor de escape cujo é gerado pelas caldeiras, e são utilizados nos pré-evaporadores, tanto como os vapores produzidos e sangrados nos efeitos posteriores a pré evaporação. Os *outputs* deste processo são o xarope, produto em que a sacarose já está concentrada, em que a água evaporada, do estado gasoso, perdeu energia térmica e condensou-se, chamando-se “condensado”, a qual será reaproveitada no processo. (HIGA et.al., 2009).

Figura 3 – Esquematização da evaporação do caldo clarificado da cana-de-açúcar



Fonte: Elaborado pela autora.

Nas usinas de produção de açúcar, utilizava-se tachos de simples construção para a evaporação; com contato direto de calor para a produção de açúcar mascavo. Era somente um equipamento que fazia toda a evaporação da água, até a concentração do xarope na zona de saturação para a formação de

cristais. Porém, com o tempo foi surgindo a necessidade de um equipamento mais elaborado que produzissem açúcar cristal, preservando-se a sua qualidade e também gerando economia de vapor para a Usina. Como a sacarose degrada-se a temperaturas elevadas, ou seja, ativa-se a enzima Invertase cujo é precursora para a inversão da sacarose, além disso, produz flavonoides e ácidos responsáveis pela cor caramelo do açúcar, foi necessário aplicar equipamentos que evaporassem a maior parcela de água presente no caldo da cana-de-açúcar pelo contato indireto de troca térmica, a uma temperatura de ebulição da água menor que em 1 atmosfera (atm.), para assim preservar as características físicas do açúcar como produto final, além da economia de vapor para toda a planta industrial. Desta forma, foram inventados os evaporadores de múltiplos efeitos. (ALBUQUERQUE, 2011).

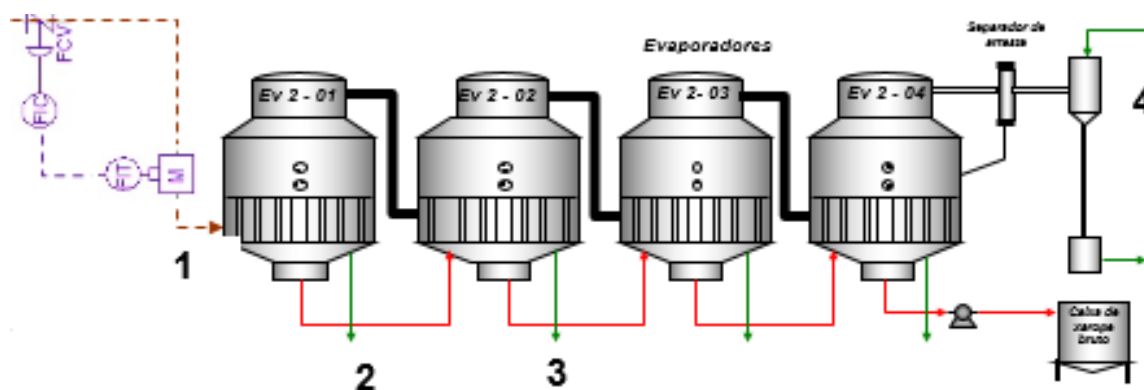
O evaporador de múltiplos efeitos tem como princípio de funcionamento a economia de vapor de escape da caldeira, pois no primeiro efeito, chamado de pré-evaporador, utiliza-se escape e gera-se VG1 através da evaporação da água. A economia de vapor é dada pela sangria de vapores gerados nas caixas de evaporação de múltiplos efeitos. O VG1, alimenta o próximo efeito da evaporação e também é responsável por aquecer os cozedores a batelada, os aquecedores de caldo para a decantação, além das colunas de destilação para a produção de etanol. (MACHADO, 2012).

A Figura 04, demonstra o funcionamento de um sistema de evaporação de múltiplo efeito constituída por evaporadores tipo Robert. O caldo clarificado, é aquecido a aproximadamente 105°C em aquecedores casco e tubo antes de alimentar o pré evaporador, representado pelo número 01 na Figura 04. Com um °Brix entre 14 -15, entra na calandra do pré evaporador, especificamente dentro de vários tubos, normalmente projetados para serem de aço inox, por evaporadores se tratarem de vasos de pressão. Por contato indireto, o vapor de escape troca calor com o caldo por convecção e condução. O caldo, a uma temperatura maior que a sua de ebulição no corpo do pré-evaporador, evapora a maior parcela de água, e por controle automático de válvulas, quando atinge o set point aferido por um refratômetro, é escoado para o próximo efeito (próxima caixa) representado pelo número 2 da figura 04. (REIN, 2013).

Como produto da pré-evaporação do caldo, é gerado o VG1, a uma pressão de vapor menor que a do escape, e que sai pela parte superior do

evaporador e alimenta a calandra do próximo efeito. A linha 03, designa o condensado, que sai de todos os efeitos e tem como função alimentar as caldeiras, economizando assim água desmineralizada. Este processo ocorre sequencialmente em todos os efeitos, aumentando de forma gradual o °Brix do caldo que posteriormente transformar-se-á em xarope. Uma das peculiaridades dos múltiplos efeitos é a utilização da pressão negativa (vácuo) gerado na última caixa por um sistema de operação de um condensador barométrico e bombas de vácuo ou por multijatos conforme o número 04 da Figura 04. (ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 04 – Esquema de evaporadores Robert de múltiplos efeitos.



Fonte:Elaborado pela autora.

Utiliza-se a pressão negativa no último efeito para evaporar a água ainda presente no caldo a uma temperatura mais baixa que a pressão de 1 atm., pois a 120 °C, o açúcar presente no caldo da cana-de-açúcar tende a caramelizar, invertendo a sacarose em frutose e glicose. Recomenda-se a trabalhar com uma pressão negativa de 25 polHg e uma temperatura próxima a 56°C. O diferencial de temperatura entre o vapor de escape e o vapor gerado no ultimo efeito é em torno de 71°C. (REIN, 2013).

Portanto, como pode ser analisado, o processo de evaporação está relacionado com o balanço energético de toda a usina. Uma vez que a taxa de evaporação dos equipamentos está abaixo da recomendada do projeto, acarreta

sérios problemas operacionais e econômicos como nas sangrias de vapores, ineficiência na concentração do °Brix do xarope para a usina.

Albuquerque (2011) pontua que para se obter uma excelente eficiência num sistema de evaporação, vários fatores devem ser monitorados como: a pressão do vapor de escape, pois a oscilação de pressão seja por problemas de rebaixamento de vapor das caldeiras, ou por golpes de aríete, prejudica a evaporação da água; é necessário também ter um planejamento de manutenção preventiva nos equipamentos para conter vazamentos no sistema de evaporação a fim de evitar a despressurização das linhas de vapores, além de uma vazão constante de água no condensador e bom funcionamento de bombas de vácuo; outro fator é a liquidação adequada dos condensados da calandra em tanques de equalização para atingir a selagem do sistema e manter a pressão do condensado, e por fim uma campanha de limpeza de hidrojateamento semanal ou conforme a necessidade do aparelho para mitigar as incrustações interiores dos tubos da calandra dos equipamentos, afim de não perder área de transferência térmica e assim aumentar a taxa de evaporação de água presente no caldo.

2.2 PERDAS DE SACAROSE NA INDÚSTRIA DE AÇÚCAR

Há vários processos, desde o sistema de colheita e transporte da cana-de-açúcar, até a extração e processamento do caldo da cana-de-açúcar que degradam a sacarose e influenciam na produção final de açúcar.

O açúcar recuperável na cana-de-açúcar é a sacarose, cujo fórmula química é $C_{12}H_{22}O_{11}$ uma substância composta por duas moléculas de monossacarídeos, formando-se uma molécula de dissacarídeo. Esses monossacarídeos são a frutose e a glicose. A glicose e frutose por se tratarem de monossacarídeos, na presença de ácido ou pela enzima invertase não sofrem hidrólise, porém a sacarose por ser um dissacarídeo, na presença de um meio ácido ou pela ação dessa enzima, hidrolisa-se na sua forma inicial, ou seja, em uma molécula de glicose e uma molécula de frutose, essa reação é conhecida por inversão. Estes dois monossacarídeos não possuem propriedades químicas adequadas para a fabricação de açúcar. (REIN, 2013).

Outro fator determinante para a perda de sacarose é a deterioração da mesma por ação de microrganismos. A deterioração pode ocorrer antes mesmo na colheita, por manifestação de pragas, e pela relação da variedade de cana *versus* clima. O monitoramento da maturação da cana-de-açúcar é essencial para tomar medidas preventivas quanto a estes fatores a fim de se evitar as perdas inerentes as etapas produtivas. Após a colheita, seja por corte manual, ou por colhedoras mecanizadas, ou até mesmo queimadas, a cana-de-açúcar deve-se ser dirigida o mais rápido possível para as usinas para o início do processamento do caldo. (ROSSETTO, 2004).

A deterioração microbiana na cana-de-açúcar aumenta proporcionalmente com os atrasos em processamento. O tolete de cana uma vez exposto ao ar, calor e umidade, torna-se um ambiente propício para a proliferação de microrganismos do gênero *Leuconostoc*. Esta bactéria utiliza a sacarose como fonte de energia e produz dextrana (um polissacarídeo), ácidos orgânicos e o manitol. A concentração de dextrana na cana-de-açúcar é um grande problema para as usinas produtoras de açúcar, pois este polissacárido presente na cana-de-açúcar é responsável pelo aumento da viscosidade do xarope, formação de falsos grãos no cozimento, e conseqüentemente menor produção de açúcar. (OLIVEIRA et al., 2002).

Albuquerque (2011) pontua que as perdas físicas de sacarose numa usina iniciam-se com a lavagem da cana antes da extração do caldo. A lavagem de cana é importante para segregar materiais como palhas, folhas e terras que foram arrastados juntos na colheita. A cana-de-açúcar picada, a qual as extremidades dos toletes ficam mais expostos ao ar, comparando-se com a cana inteira, em contato com a água de lavagem, é arrastado juntamente com as partículas sólidas a sacarose. Parte desta água é recirculada ao sistema, e outra parte é bombeada para tanques de tratamento, porém não há recuperação da sacarose presente nela. Rein (2013) analisa que sistemas mecânicos de limpeza à seco com exaustores são uma alternativa para a substituição da lavagem de cana, além da regulação correta das facas das colhedoras para o menor arraste de materiais como terra que deverão ser segregados no processo.

Na extração do caldo de cana-de-açúcar, etapa inicial do processamento, as perdas de sacarose podem ser de caráter físico, inversão ácida, inversão enzimática e destruição microbiana. As perdas físicas nas moendas estão

associadas as manutenções de bombas e tubulações, como também a lubrificação dos rolos. Vazamentos de caldo das tubulações e mal engaxetamento de bombas são problemas que devem ser sanados o mais rápido possível para conter o desperdício de caldo. Além disso, planos de limpeza e sanitização das moendas devem ser colocados em ação da operação, pois a falta deles ocasiona a degradação da sacarose. Já as perdas por inversão ácida, onde a sacarose é transformada em glicose e frutose, estão associadas ao pH do meio, e a temperatura elevada da operação da moagem. Outra consequência da temperatura, é o caldo estar abaixo de 65 °C, tendo ambiente propício para a produção de *Saccharomyces sp*, um microrganismo que produz a enzima invertase, responsável pela inversão da sacarose. (REIN, 2013)

Araujo (2005) enfatiza que na sulfitação, uma das etapas do tratamento do caldo da cana-de-açúcar, que tem como consequência a redução do pH do mesmo, se este não for corrigido com leite de cal subsequentemente para um pH neutro, a probabilidade de ocorrer a inversão ácida aumenta. O autor evidencia que dentre as etapas de tratamento de caldo, a perda na torta deve ser controlada, uma vez que ineficientes filtrações do lodo não conseguem reter boa quantidade de caldo presente na torta.

Uma das maiores porcentagens de perdas de sacarose na fabricação de açúcar é inerente ao processo de evaporação do caldo. Nesta etapa, as perdas podem ser classificadas por inversão por conta da alta temperatura como já mencionado e físicas proporcionada pelo arraste de xarope nos equipamentos. A maior temperatura operada neste processo, e como já visto, está no primeiro efeito da evaporação, pois a temperatura do vapor de escape está em torno de 125°C. Pontua-se, que a taxa de inversão duplica com o aumento de 6,3°C, influenciadas pelo tempo e pelo pH. O pH deve ser mantido acima de 7,0, porém é comum durante a passagem do caldo pelos próximos efeitos a redução deste pH, caso essa redução seja igual ou menos a 1 ponto, não deve - se preocupar, caso maior que 1 ponto, interferir-se-á no processo de cozimento. (REIN, 2013).

Rein (2013) explica o arraste da seguinte forma: no corpo dos evaporadores, o caldo encontra-se em ebulição, projetando para cima gotículas pequenas de caldo, que são arrastadas com o vapor (água que constituía o caldo e desprende-se em estado gasoso) para os próximos efeitos ou no condensador barométrico e multijato. Os fatores que influenciam este arraste são

vários, dentre os principais destacam-se: nível de operação do caldo acima de 1/3 da altura dos tubos da calandra; vazamentos de ar no sistema; operação acima de 25polHg no último efeito, obstrução de tubulações do recuperador de limpeza dos separadores de arraste, falta de limpeza no separador de arraste. É de extrema importância a instalação de um separador de arraste no equipamento, e o tipo de acordo com o equipamento e o projeto deste. Os separadores de arraste devem ser escolhidos de acordo com a força de separação empregada para a separação das gotículas de caldo, podendo ser pela gravidade, pela força centrífuga e pela mudança de direção.

Desta forma, as perdas de sacarose, sejam elas físicas, por inversão ácida, inversão enzimática e deterioração microbiana devem ser mensuradas e encontrada suas respectivas causas-raiz para mitigar o problema, pois elas significam menor produção de açúcar e consecutivamente queda na receita da Usina.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa possui caráter qualitativo, pois trata-se de um estudo de caso. O presente trabalho foi realizado em uma Usina X de processamento de cana-de-açúcar localizada no centro-oeste do estado de São Paulo. Por meio de estudo de caso, foram obtidos dados através de análises laboratoriais para assim poder ser quantificada a perda de sacarose no circuito de águas de abastecimentos das colunas barométricas do processo de evaporação e cozimento localizados na fábrica de açúcar.

Primeiramente, foram analisados °Brix das amostras de condensado de todas as colunas das evaporações e cozedores (sendo no total 6 evaporações e 16 cozedores) para identificar se estava ocorrendo o arraste de gotículas de xarope ou não, já que a perda em ART no final do circuito de bombeamento dessas águas estava dando maior que o da meta proposta. As análises foram feitas uma vez ao turno, sendo três turnos por dia no laboratório industrial da Usina X durante os meses de abril e maio e consecutivamente planejadas de fazer por toda a safra para se comparar com o resultado obtido nestes meses. Após identificadas as perdas nestes dois meses citados da safra de 2017, foi utilizado ferramentas da qualidade para identificar a causa raiz deste problema

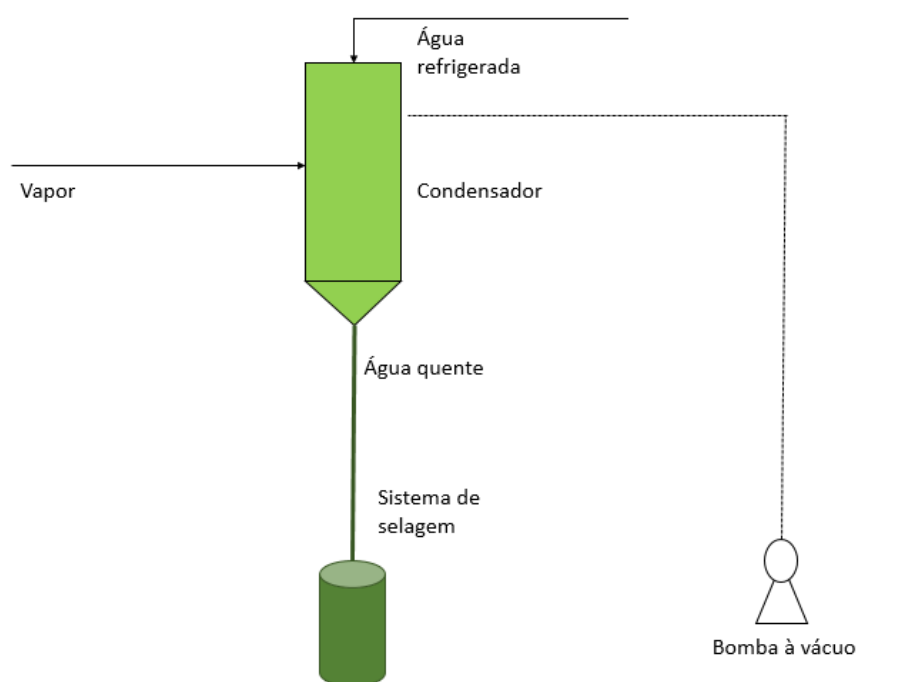
e tentar solucioná-lo. O mapeamento de perdas nos evaporadores e cozedores durou certa de 02 meses (abril e maio) e contou com o apoio de todos os colaboradores. Porém, o monitoramento foi realizado nos meses consecutivos até a presente data, pois faz parte da etapa de análise do ciclo PDCA.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 DETALHAMENTO DO FUNCIONAMENTO DAS COLUNAS BAROMÉTRICAS E REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO DE ÁGUAS DO MULTIJATO NA USINA X

As colunas barométricas, equipamentos mais conhecidos por condensadores, estão ligadas aos últimos efeitos da evaporação, pois são responsáveis por gerar a pressão negativa nesta caixa, juntamente com uma bomba à vácuo. Nos cozedores, são responsáveis por manter o equipamento trabalhando na condição ideal, de 25 polHg, para evaporarem a água em uma temperatura inferior a 100°C e não caramelizarem a massa percursora na formação dos cristais de açúcar conforme a Figura 5. (ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 5 – Funcionamento da coluna barométrica

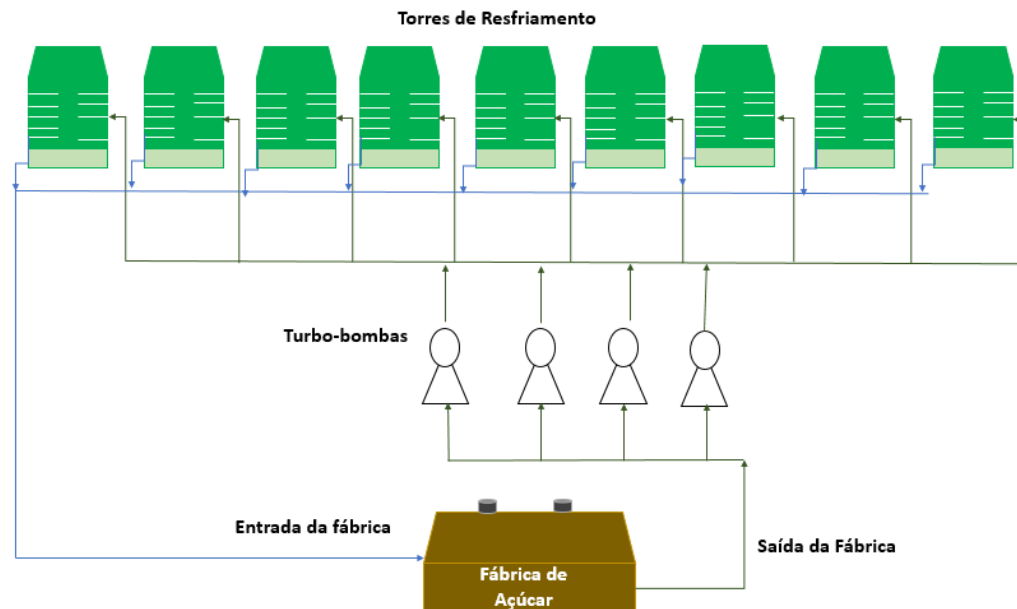


Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Figura 5, a pressão negativa é gerada pelo funcionamento ideal da coluna barométrica, onde no condensador entra-se o vapor proveniente da parte superior da última caixa, e troca calor diretamente com água refrigerada vinda das torres de resfriamento; dependendo da usina, o sistema de resfriamento pode ser por sprays. O vapor perde energia térmica em contato com água, que está em uma temperatura inferior, de aproximadamente 30°C, e condensa-se. A pressão negativa é gerada por uma bomba à vácuo, que transfere o ar para o condensador. A água, após ter trocado calor com o vapor, passa através de uma tubulação, a uma temperatura de aproximadamente 50°C, e é armazenada em um tanque de selagem. Segundo Andr et al. (2013), o sistema de selagem é responsável por evitar diferenciais de pressão no sistema de evaporação, afim de evitar a despressurização do sistema.

Após a água cair no tanque de selagem, ela é captada por canaletas e destinada até a bacia de recaptação de águas do multijato na Usina “X” onde será succionada por três turbo-bombas e refrigeradas por nove torres de resfriamento, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Circuito das águas do Multijato



Fonte: Elaborada pela autora.

Como pode ser notado na Figura 6, trata-se de um circuito fechado de resfriamento de água. A água do multijato que sai da fábrica de açúcar, e é bombeada para as torres de resfriamento, volta para ela através da gravidade para abastecer os condensadores da evaporação, cozedores e filtros, não

havendo nenhuma interligação de qualquer outra tubulação no percurso que possa contaminar esta água.

Assim, quando há o arraste de partículas de sacarose na evaporação, cozedores e filtros, é possível detectar através de um amostrador igual ao da Figura 7 e instalado em um recuperador de condensado da coluna barométrica, onde este recuperador coleta o vapor proveniente do equipamento e por uma serpentina é refrigerado e condensado. Esta água condensada é armazenada numa caneca de inox e com uma válvula na saída dela, é possível coletar a amostra e analisá-la.

Figura 7 – Amostrador de condensado das colunas barométricas



Fonte: Usina X

A água do amostrador da Figura 7 é encaminhada ao laboratório e analisada o °Brix desta por um refratômetro digital. Valores permitidos que quantificam a perda de sacarose por equipamento é até 0,10, acima disso já é considerado um valor austero de perda, onde provavelmente o equipamento está com algum problema operacional ou alguma operação foi coordenada fora dos parâmetros controláveis.

Outro método de quantificar a perda por equipamento é amostrando a água do tanque de selagem das colunas barométricas dos equipamentos, juntamente com a entrada da água da fábrica proveniente das torres de resfriamento, e calculando o delta. Ressaltando que para a análise escolhida, ambos devem ser feitos igualmente, ou seja, o delta deve ser em ° Brix para ambos, ou para ART (equação 1):

$$\Delta^{\circ}\text{Brix} = ^{\circ}\text{Brix}_{\text{saída}} - ^{\circ}\text{Brix}_{\text{entrada}} \quad \text{ou} \quad \Delta_{\text{ART}} = \text{ART}_{\text{saída}} - \text{ART}_{\text{entrada}} \quad (1)$$

Fonte: Rein, 2013.

Para saber se o equipamento está arrastando, o Δ_{ART} (delta) deve ser menor ou igual a zero, ou seja, a saída de água do condensador deve- ser igual ou menor a entrada de água do condensador.

Já a quantificação da perda por equipamento é expressa por (equação 2):

$$\text{Perda} = \frac{\Delta_{\text{ART}} \times V \times q}{\text{Moagem}/24 \times (\text{ART}_{\text{cana}}/100)} \quad (2)$$

Fonte: Rein, 2013.

Onde: V é o volume em HL do cozedor ou em m² da evaporação.

q é um número adimensional. Para cozedores é 0,70 e para evaporadores é 0,65.

Moagem/24 é a moagem do dia em toneladas.

ART_{cana} é a média do ART da cana de entrada na usina aferido por análises cromatográficas.

4.2 DETALHAMENTO DAS AÇÕES REALIZADAS PARA DIMINUIÇÃO DAS PERDAS NO MULTIJATO COM APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA USINA X

Na Usina x, a safra de 2017 iniciou-se na primeira quinzena de abril, e logo no primeiro mês de moagem, as amostras coletadas nos amostradores das evaporações e cozedores uma vez por turno, três vezes ao dia, e analisadas uma vez ao turno o °Brix, detectavam na maioria das vezes °Brix maior ou igual a 0,10. Isto significara uma perda considerável de sacarose no sistema, ou seja, estava acontecendo o arraste de gotículas de caldo/xarope juntamente com o vapor nos equipamentos da fábrica de açúcar.

Primeiramente, em meados de abril de 2017, foi unida toda equipe de líderes para tentar identificar o problema, no caso havia duas hipóteses: ou tratava-se de um problema operacional ou um problema específico por equipamento.

Averiguado e investigado todas as análises retrocedentes, foi identificado que não era um problema por turno específico, e sim que todos os turnos estavam tendo esta avaria no processo, além de vários equipamentos terem análises não conformes.

Após estas investigações, foi realizado no final de maio de 2017 um Brainstorming com toda a operação para que cada um pudesse levantar ideias do porquê estava acontecendo estas perdas nos equipamentos conforme pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Brainstorming sobre a causa das perdas no multijato

Por que os equipamentos da fábrica de açúcar estão arrastando e consequentemente aumentando a perda no multijato?

- 1- Vazamentos no corpo/ calandra/ caixa de selo/ ou tubulações dos equipamentos
- 2- Oscilação da pressão do vapor de escape gerado pelas caldeiras de baixa pressão
- 3- Oscilação da pressão negativa ocasionada por problemas nas bombas de vácuo
- 4 – Oscilação da pressão negativa ocasionada por problemas no sistema de selagem (coluna barométrica)
- 5 - Operação inadequada do nível de caldo nos evaporadores e massa nos cozedores ocasionada por problemas nos transmissores de níveis ou mesmo por descuido da operação nos equipamentos de controles manuais.
- 6 – Obstruções de tubulações como por exemplo dos recuperadores.
- 7 – Frequência baixa de limpeza nos cozedores
- 8 – Limpeza inadequada nos recuperadores (separadores) como pouco tempo de assepsia com o vapor, ou água quente.
- 9- Vazamentos nos separadores de arraste centrífugo e manters (à placa).

Fonte: elaborado pela autora.

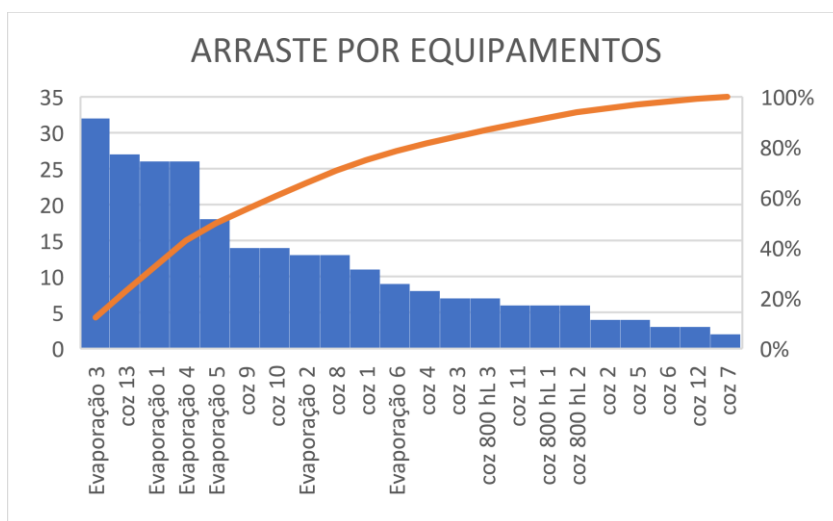
Como todas as ideias levantadas no Brainstorming poderiam ser a possível causa do arraste, foi necessário avaliar cada uma para poder ter certeza se aquilo poderia ou não ter procedência. No início do mês de junho de 2017, nos equipamentos automatizados como as evaporações, três cozedores de fabricação de semente para a formação da Massa B, e nos cozedores de maiores capacidades foram tirados gráficos de níveis de operação e da pressão do vapor de escape.

Com os gráficos foi avaliado se o nível de caldo (nos dias em que ocorreu uma perda acima de 0,10°Brix no equipamento) estava acima do recomendado a trabalhar ou abaixo, cujo o parâmetro demonstrado no Quadro 1 e pré-estabelecido é de 1/3 da altura dos tubos da calandra. E também se a pressão do vapor de escape estava oscilando, pois se o vapor de escape oscila, a pressão de VG1 e VG2 oscila consequentemente. Seguidamente, chegou-se à conclusão que o nível de operação estava correto, e as vezes quando variava a pressão do vapor de escape por algum problema de rebaixamento nas caldeiras, ou nenhum equipamento arrastava gotículas de caldo/xarope, ou outras vezes aproximadamente 80% dos equipamentos arrastavam gotículas de caldo/xarope, concluindo, este era um problema geral em todos os equipamentos e esporádico, já que não era sempre que as caldeiras estavam com problemas.

Já na primeira quinzena de junho de 2017, nesta próxima etapa que foi realizada, tratou-se de descobrir se o problema era específico por equipamento, já que as hipóteses operacionais que foram analisadas anteriormente não eram tão propícias para serem a causa raiz do problema.

Por conseguinte, utilizando o software Excel, foi mapeada todas as análises realizadas em todos os equipamentos e em todos os turnos desde o começo da safra de 2017, e utilizada a função de condicional do software, foram marcadas as análises de °Brix por equipamento que resultaram num valor de igual ou maior a 0,10. Por fim, foi montado um gráfico do tipo pareto que demonstrasse a porcentagem dos equipamentos que mais estavam perdendo sacarose, conforme pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Gráfico Pareto



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o gráfico, é possível notar os equipamentos que mais tiveram perdas. No eixo x, que tem os valores variando de 0 a 35, tem-se a incidência de todas as vezes que as análises de °Brix no equipamento deu maior ou igual a 0,10. No caso da evaporação 3, 33 vezes deu análises não conformes, o que representa quase 90% de todas as amostras que foram analisadas. Continuando nessa investigação, os cinco piores equipamentos, que estavam dentro ou acima da linha dos 80% eram: evaporação 3, cozedor 13, evaporação 1, evaporação 4 e evaporação 5.

Para poder descobrir a avaria que estava acontecendo nestes cinco equipamentos, foi criado um check list operacional em que o operador assim que parasse o equipamento para checagem, deveria seguir uma lista de fatores a ser observados e pontuados como conformes ou não conformes, estes fatores podem ser analisados na figura 9.

Figura 9 – Checklist operacional para controle de arraste

INSPEÇÃO OPERACIONAL - ARRASTE		Conforme	Não Conforme
Evaporação n° _____	Aparelho isento de vazamentos no corpo, calandra, separador de arraste, sistema de selo, ou tubulações que fazem parte dele.		
	Tubulação obstruída		
	Nível de operação dentro do parâmetro estabelecido		
	Pressão de vapor estabilizada		
	Separador de arraste limpo		
	Amostrador funcionando adequadamente		
Cozedor n° _____	Aparelho isento de vazamentos no corpo, calandra, separador de arraste, sistema de selo, ou tubulações que fazem parte dele.		
	Tubulação obstruída		
	Nível de operação dentro do parâmetro estabelecido		
	Pressão de vapor estabilizada		
	Separador de arraste limpo		
	Amostrador funcionando adequadamente		
Avaria encontrada			
Ação tomada			

Fonte: Elaborado pela autora.

Com a parada dos equipamentos para a inspeção, foram encontradas várias avarias neles, principalmente vazamentos nos últimos efeitos em que resultavam na despressurização do equipamento, fazendo-os perder a pressão negativa gerada pela coluna barométrica e bomba à vácuo.

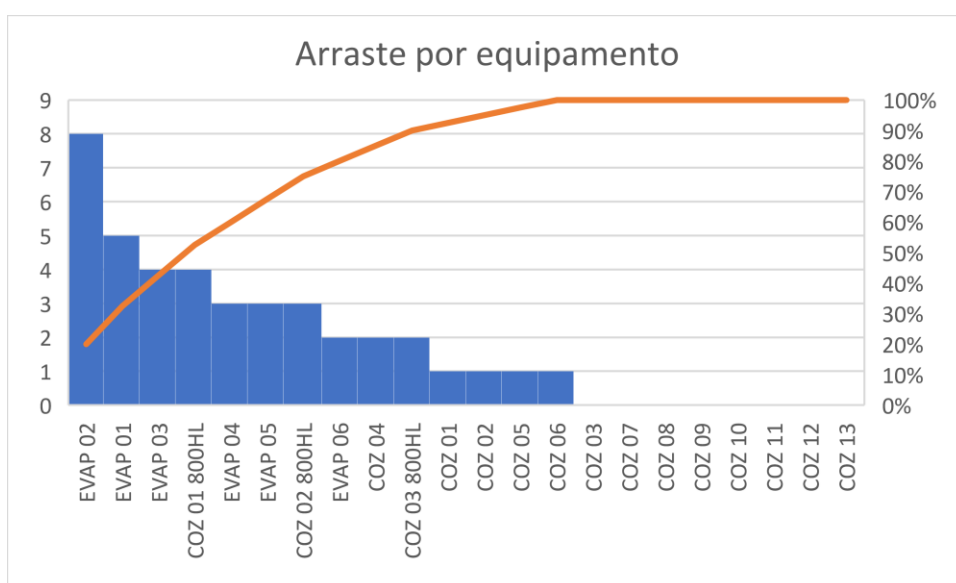
Posteriormente ao plano de ação realizado para sanar estes vazamentos, foi incluído como responsabilidade da operação o preenchimento de um formulário do resultado de todas as análises feitas em todos os turnos para o acompanhamento da perda por equipamento. Caso ocorresse o fato da análise resultar igual ou acima 0,10 o °Brix, era obrigatório parar o equipamento que estava apresentando problema e inspecioná-lo com apoio no checklist operacional criado e visto na Figura 9, e consecutivamente os fatores que deveriam ser checados e que desse como não conforme, os colaboradores deveriam tomar uma ação para sanar o problema pela raiz.

Além disso, os operadores deveriam anotar num campo destinado neste formulário toda vez que houvesse oscilação de pressão do vapor de escape, além de qualquer operação realizada que fosse fora dos parâmetros pré-estabelecidos, como por exemplo, quando algum cristalizador estava cheio e não conseguissem terminar uma batelada do cozimento de massa para os cristalizadores, tendo assim que manter a massa no cozedor aguardando, ação que pode ocasionar o arraste de gotículas de sacarose.

5 RESULTADOS

Com a implementação de ferramentas da qualidade para descobrir a causa-raiz do problema que estava causando perdas significantes nos equipamentos de evaporação e cozimento na fábrica de açúcar da Usina X em meados de julho de 2017, aproximadamente um mês após a mudança de gestão para coordenar estas perdas, conseguiu-se a redução de arrastes por equipamentos conforme a Figura 10.

Figura 10 – Pareto após um mês da instauração da gestão de redução das perdas.



Fonte: elaborado pela autora.

Anteriormente, conforme o Quadro 2 a evaporação 3 a qual continha 33 análises não conformes caiu para 4 análises não conformes no período de um mês, conforme pode ser analisado na Figura 10, isto corresponde um percentual de 87% de redução de não conformidade nesse equipamento. Já o cozedor 13 teve uma redução de 100% de não conformidade.

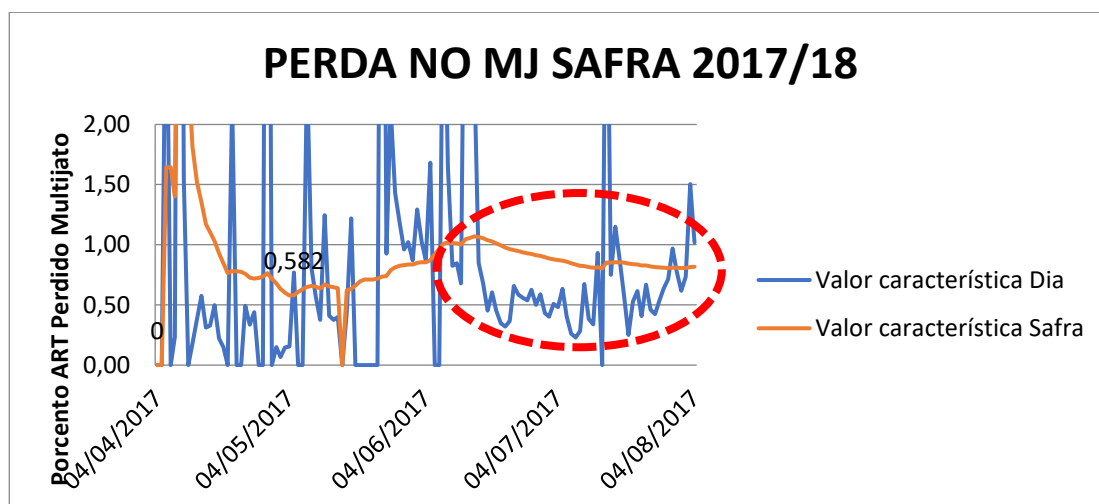
Quadro 2 – Quadro comparativo

Equipamentos	Análises °Brix antes do projeto	Análises °Brix após 1 mês do projeto
Evaporação 1	26	5
Evaporação 2	13	8
Evaporação 3	32	4
Evaporação 4	26	3
Evaporação 5	18	3
Evaporação 6	9	2
Cozedor 1	11	1
Cozedor 2	4	1
Cozedor 3	7	0
Cozedor 4	8	2
Cozedor 5	4	1
Cozedor 6	3	1
Cozedor 7	2	0
Cozedor 8	13	0
Cozedor 9	14	0
Cozedor 10	14	0
Cozedor 11	6	0
Cozedor 12	3	0
Cozedor 13	27	0
Cozedor 14 (Coz 1 800 HL)	6	4
Cozedor 15 (Coz 2 800 HL)Cozedor 1	6	3
Coz Cozedor 16 (Coz 3 800 HL)edor 1	7	2

Fonte: Elaborado pela autora

Consequentemente, havendo a redução de não conformidades nas análises de °Brix dos equipamentos, há paralelamente a redução da perda no multijato em ART%, conforme pode ser analisado na figura 11.

Figura 11 – Perda no MJ em ART



Fonte: elaborado pela autora.

No período de 04/06/2017, antes da instauração da nova gestão de redução das perdas no multijato, a perda em ART apresentava a 1,10%, ou seja, todo o ART de entrada de cana que a Usina X moía, 1,10% era perdido no circuito fechado de águas para resfriamento das colunas barométricas. Após 2 meses da instauração da gestão, o percentual perdido foi de 0,81% em ART, o que significou uma redução de aproximadamente 20% em ART. Durante o período da implantação, a diferença na perda do multijato do início da safra em comparação a data após dois meses do projeto foi de 20.380 sacas de açúcar, o que equivale a cerca de R\$ 811.212,00 (oitocentos e onze mil e duzentos e doze reais).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a implementação correta de ferramentas da qualidade para monitorar, e identificar a causa-raiz das perdas elevadas no multijato na Usina X na safra de 2017/2018 foi possível reduzir a perda em percentual de ART de aproximadamente em 20% e em quase 80% nos equipamentos analisados.

Em ART no circuito de águas do multijato houve a redução de 20% de perda de sacarose, ou seja, esses 20% foram convertidos em açúcar para o processo e aumentando em 20% a produção final de açúcar.

Isto demonstra além das perdas por estes equipamentos, há outras causas de contaminação no circuito de águas do multijato que devem ser avaliadas por toda a equipe da Usina X.

Contudo, o resultado alcançado com este trabalho trouxe maior produção de açúcar para a Usina “X” e consequentemente maior rentabilidade monetária. Sobretudo, funcionários mais qualificados a lidar com esta perda e melhor eficiência de todo o processo de evaporação e cozimento como um todo.

MAPPING AND DECREASE OF SACAROSE LOSSES IN THE WATER CIRCUIT IN THE MULTIJATO OF THE PROCESSING OF CRYSTAL SUGAR MANUFACTURING IN A PLANT IN THE COUNTRYSIDE OF SÃO PAULO: CASE STUDY Jordana Bortoloti

..

ABSTRACT

This work is a case study that was carried out in a sugarcane processing plant located in the countryside of São Paulo, specifically in the crystal sugar production industry. The purpose of this study is to map the losses of sucrose which occur due the dragging of sugarcane juice droplets and syrup together with the vapor in the evaporation processes and the boiling process for the manufacture of crystal sugar, contaminating the water of the barometric columns used in these equipment, also known as circuit multi-water. This work also brings the different sucrose losses in a sugar-alcohol plant that negatively affects the manufacture as well as the final product quality and yield, which is the sugar. These three losses that will be discussed in this work may occur due to: acid inversion, enzymatic inversion and microbial inversion. Furthermore, it was designed a play of actions with the application of quality tools for the measurement and reduction of sucrose losses in the water circuit.

Keywords: Sucrose losses. Barometric columns. Acid inversion. Enzymatic inversion. Microbial inversion. Quality tools application.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F.M. **Processo de Fabricação do Açúcar**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2011.
- ALLES, C. J. B. **Tecnologia no tratamento e clarificação de caldo na produção sucroalcooleira**. 2013. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília, 2013.
- ANDR, G *et al.* **SISTEMA DE VÁCUO NA SEÇÃO**. n. July, p. 57–61, 2013.
- ARAUJO, F.A.D. **Tratamento e Clarificação do Caldo de Cana pelo Método da Bicarbonatação**. 2005. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia Ambiental) – Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, 2005.
- BHATNAGAR, Amit; KESARI, Kavindra Kumar; SHURPALI, Narasinha. Multidisciplinary Approaches to Handling Wastes in Sugar Industries. **Water, Air, and Soil Pollution**, Finland, v. 227, n. 1, nov. 2016.
- HIGA, M. *et al.* Thermal integration of multiple effect evaporator in sugar plant. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 2–3, p. 515–522, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.03.009>>. Acesso em: 12 jul. 2017.
- LEWIS, P; COOKE, G. Developing a lean measurement system to enhance process improvement. **International Journal of Metrology and Quality Engineering**, Coventry, UK, v. 4, n. 3, p. 145–151, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897889238&partnerID=40&md5=3fce1510dd58e598ae76c9bcb3fec9df>>. Acesso em: 10 set. 2017
- LIMA, Roberta Bergamin. **Processo De Clarificação De Caldo De Cana-De-Açúcar Aplicando Elétrons Acelerados**. 2012. 62f. Dissertação (Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- MACHADO, S.S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Inhumas, GO: Instituto federal de educação, ciência e tecnologia, 2012. 56p. Apostila.
- OLIVEIRA, A.S *et al.* Fatores que Interferem na Produção de Dextrana por Microrganismos Contaminantes da Cana-de-Açúcar. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 23, n. 1, p. 99–104, 2002. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewArticle/1541>>.

Acesso em: 21 ago.2017.

REIN, P. **Engenharia do Açúcar de Cana**. Tradução César Miranda e Ericson Marino. 1. ed. Berlim: Elbe Drnckerei Wittenberg, 2013.

ROSETTO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. **Visão Agrícola**, ESALQ-USP, Ano 1, Jan 2004. p. 80–85, 2004.

SRIVASTAVA, Divya; MOHANTY, Bikash; BHARGAVA, Ravindra. Modeling and Simulation of Mee System Used in the Sugar Industry. **Chemical Engineering Communications**, England, v. 200, n. 8, p. 1089–1101, feb. 2013.