

CARLA CARRARA FRACASSI CANAIS

Avaliação dos riscos nas caixas de evaporação do setor sucroenergético

São Paulo

2018

CARLA CARRARA FRACASSI CANAIS

Avaliação dos riscos nas caixas de evaporação do setor sucroenergético

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para a  
obtenção do título de Especialista em  
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2018

Dedico este trabalho aos  
meus pais e ao meu marido.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Nair e Antonio, pela dedicação, carinho, amor e auxílio sempre.

Ao meu marido Eduardo, pela paciência, amor e suporte.

À minha irmã Priscila pelo amor e motivação.

Ao Adão, Alexandre, André, Anne, Aparecida, Elaine, Geraldo, Luciano, Marcinho, Roberto e Sinalton por contribuírem para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa, objeto deste estudo, por permitir e disponibilizar as informações necessárias para a realização deste estudo.

À Juliana, amiga desde a infância, pela dedicação e paciência em ler o trabalho.

À Natalia pela amizade e parceria no trabalho nos últimos anos.

Aos professores e IMADs por todo conhecimento transmitido e suporte.



## RESUMO

O setor sucroenergético é muito representativo para a economia brasileira, para a geração de emprego e nas estatísticas de acidentes da Previdência Social, com destaque aos altos números de acidentes na fabricação de açúcar. Neste trabalho foi desenvolvida a avaliação dos riscos da operação, limpeza e manutenção nas caixas de evaporação de uma usina do setor sucroenergético, utilizando as técnicas de Análise Preliminar de Risco (APR) e o Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP). Analisou-se as informações levantadas do processo de operação e limpeza das caixas de evaporação, assim como revisou-se os conceitos de avaliação de riscos e das ferramentas empregadas. Para a aplicação das ferramentas foram seguidos os procedimentos recomendados, como a formação de uma equipe de estudo, visita ao processo, levantamento e análise da documentação, reuniões para identificar os perigos/desvios, suas causas e consequências, assim como estabeleceu-se as recomendações. Os resultados do estudo foram compilados nas planilhas específicas de cada ferramenta e como destaque da aplicação da metodologia da APR pôde-se citar a identificação de 25 perigos, sendo dez deles não incluídos na APR realizada previamente pela empresa em estudo. Na aplicação da metodologia HAZOP destaca-se um desvio com suas respectivas consequências, que ainda não haviam sido identificados na APR, tendo como consequências as altas vibrações, ruído e ruptura do equipamento em decorrência ao choque térmico que pode vir a ocorrer entre o condensado e o vapor, caso não haja saída do condensado. Portanto os objetivos propostos foram atendidos com a identificação, análise e avaliação dos riscos nas caixas de evaporação por meio da aplicação das ferramentas APR e HAZOP, contribuindo assim com a prevenção de incidentes, acidentes e de doenças do trabalho.

**Palavras-chave:** Setor sucroenergético. Espaço confinado. Caixas de evaporação. Avaliação de riscos. APR. HAZOP.

## ABSTRACT

The Sugar-energy sector is very representative for the Brazilian economy, for employment generation and in the statistics of accident Social Security, especially regarding the high accidents rates in sugar manufacturing. In this study, the risk assessment was carried out in sugar-energy sector, using the Preliminary Risk Analysis (APR) and the Hazard and Operability Studies (HAZOP) techniques. The objectives were to identify the hazards, analyze and evaluate the risks of operation, cleaning and maintenance of the evaporation boxes. The information on the operation and cleaning process of the evaporation boxes were analyzed, besides, it was obtained a review of the concepts of risk assessment and from the used tools. For the application of the tools, the procedures were the formation of a study team, visit to the process, analysis of the documentation, meetings to identify the hazards / deviations, their causes and consequences, as well as to establish the recommendations. The results of the study were compiled in the specific spreadsheets of each tool. As main result, it was possible to consider to APR methodology, 25 hazards were identified, ten of them not included in the APR previously carried out by the study company. In the application of the HAZOP methodology, a deviation with their respective consequences, which had not yet been identified in the APR, was observed, resulting in high vibrations, noise and equipment rupture due to the thermal shock that can occur between the condensate and if there is no condensate coming out. Therefore, the proposed objectives were met with the identification, analysis and evaluation of the risks in the evaporation boxes through the application of APR and HAZOP tools, thus contributing to the prevention of incidents, accidents and work diseases.

**Keywords:** Sugar-energy sector. Confined space. Evaporation tank. Risk assessment. Preliminar risk analyse. HAZOP.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Acidentes de trabalho do setor sucroenergético de 2011 a 2016 .....	12
Figura 2 - Fluxograma do sistema de produção do setor sucroenergético.....	15
Figura 3 - Princípio dos evaporadores de múltiplos efeitos .....	20
Figura 4 - Componentes de um evaporador de múltiplo efeito.....	21
Figura 5 - Disposição dos tubos no espelho da calandra.....	22
Figura 6 - Expulsão dos gases incondensáveis sob vácuo .....	23
Figura 7 - Circulação do caldo: Chapman .....	24
Figura 8 - Equipamentos para limpeza mecânica do tipo vibratório .....	27
Figura 9 - Trabalho em espaço confinado: evaporador de caldo .....	28
Figura 10 - Equipamentos para limpeza mecânica: hidrojateamento.....	28
Figura 11 - Equipamento para limpeza química: spray ball.....	29
Figura 12 - Comparativo entre os principais métodos de limpeza das caixas de evaporação do setor sucroenergético .....	30
Figura 13 - Processo de gestão de riscos .....	34
Figura 14 - Exemplo de planilha para Análise preliminar de perigos (APP) .....	37
Figura 15 - Principais ferramentas de análise de risco.....	39
Figura 16 - Exemplo de planilha para Análise preliminar de risco (APR).....	43
Figura 17 - Pontuação de Probabilidade .....	44
Figura 18 - Pontuação da Consequência .....	44
Figura 19 - Grau de Risco .....	44
Figura 20 - Definição sobre aceitabilidade do risco .....	45
Figura 21 - Exemplos de desvios, palavras-guias, definições e exemplos.....	49
Figura 22 - Exemplo de planilha para Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP).....	50
Figura 23 - Vista aérea da usina em estudo.....	53
Figura 24 - Fluxograma simplificado da fabricação de açúcar .....	54
Figura 25 - Caixas de evaporação do caldo.....	55
Figura 26 - Parâmetros de controle da evaporação .....	55
Figura 27 - Evaporador com os principais fluxos e componentes .....	56
Figura 28 - Vista superior do espelho superior da calandra .....	57
Figura 29 - Equipamentos para limpeza: Chicote e roseta.....	58

Figura 30 - Bloqueio das válvulas de entrada do vapor .....	59
Figura 31 - Porta de inspeções dos evaporadores e exaustor. ....	60
Figura 32 - Perigos não identificados, previamente, na APR da empresa .....	65
Figura 33 - APR: Grau de risco 5 - Moderado .....	67
Figura 34 - Seleção das partes e intenções do projeto .....	68
Figura 35 - Seleção das partes para o processo, manutenção e limpeza dos evaporadores .....	69
Figura 36 - Consequência do HAZOP não identificada na APR.....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Análise Preliminar de Perigos
APR	Análise Preliminar de Riscos
BTA	<i>Bow Tie Analysis</i>
CD	Caldo Decantado
CE	Caldo Evaporado
CNAE	Classificação Nacional de Atividade Econômica
CND	Condensado
COI	Centro de Operação Integrado
EC	Espaço Confinado
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETA	<i>Event Tree Analysis</i>
FMECA	<i>Failure mode and Effect Criticality Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LIE	Limite inferior de explosividade
NBR	Norma Brasileira

NR	Norma Regulamentadora
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PCA	Programa de conservação auditiva
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PT	Permissão de Trabalho
P&ID	<i>Piping and instrumentation diagram</i>
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SLAM	<i>Stop, Look, Assess and Manage</i>
SST	Segurança e Saúde do Trabalho
TC	Tonelada de cana
USP	Universidade de São Paulo
VE	Vapor Escape
VV1	Vapor Vegetal da 1º caixa
WRAC	<i>Workplace Risk Assessment and Control</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
H <sub>2</sub> S	Gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
O <sub>2</sub>	Oxigênio
°C	Grau Celsius
R\$	Real

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVO .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 PROCESSO INDUSTRIAL DO SETOR SUCROENERGÉTICO.....	15
<b>2.1.1 Processo de evaporação do caldo.....</b>	<b>18</b>
2.1.1.1 Evaporadores de múltiplos efeitos .....	19
2.1.1.2 Formação dos depósitos e incrustações .....	24
<b>2.1.2 Limpeza nos evaporadores .....</b>	<b>26</b>
2.2 GESTÃO DE RISCOS DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO.....	31
2.3 AVALIAÇÃO DOS RISCOS .....	35
<b>2.3.1 Identificação dos perigos .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.2 Análise do risco.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.3 Avaliação do risco.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.4 Tratamento de riscos .....</b>	<b>40</b>
2.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO (APR) .....	41
2.5 ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP).....	46
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
3.1 METODOLOGIA.....	52
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE TRABALHO .....	53
<b>3.2.1. Processo de evaporação do caldo.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.2 Limpeza nas caixas de evaporação .....</b>	<b>58</b>
3.3 AVALIAÇÃO DE RISCO .....	62
<b>3.3.1 Análise Preliminar de Riscos (APR).....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.2 Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP) .....</b>	<b>63</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>65</b>
4.1 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR).....	65
4.2 ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP).....	68
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE - RESULTADOS DA ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR) PARA A OPERAÇÃO, LIMPEZA E MANUTENÇÃO NOS EVAPORADORES .....</b>	<b>76</b>



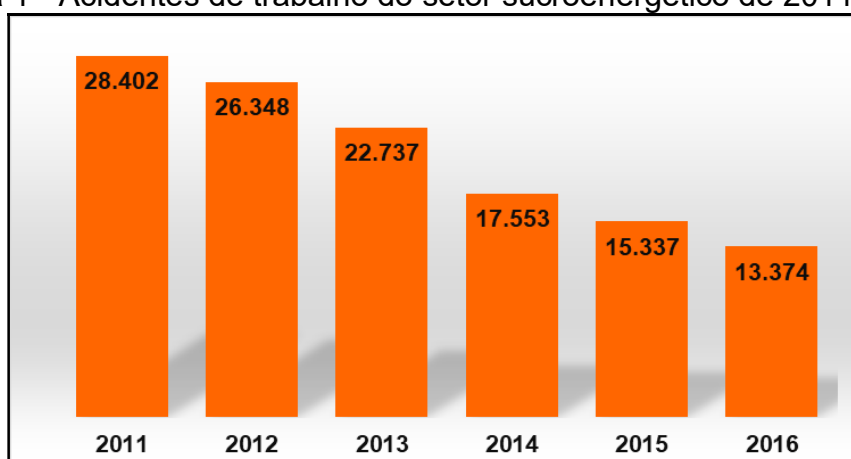
<b>APÊNDICE - RESULTADOS DO ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP) PARA A OPERAÇÃO DOS EVAPORADORES .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE - RESULTADOS DO ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP) PARA A LIMPEZA E MANUTENÇÃO DOS EVAPORADORES .....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (mais de 632 milhões de toneladas na safra 2014/2015), o maior produtor de açúcar (36 milhões de toneladas produzidas na safra 2014/2015) e o segundo maior produtor de etanol (28 bilhões de litros na safra 2014/2015). Estas produções estão relacionadas a cerca de 371 unidades produtoras, gerando mais de 900 mil empregos formais diretos, apenas, pelo setor produtivo e 70 mil produtores rurais de cana-de-açúcar independentes (UNICA, 2018).

O setor sucroenergético, além de ser significativo na economia brasileira e empregar um grande volume de trabalhadores, representa um volume expressivo de acidentes do trabalho, conforme aponta os Anuários Estatísticos da Previdência Social (Brasil 2012, 2014 e 2016) representado na Figura 1. A Figura 1 consolida os acidentes de 2011 a 2016 para os códigos da Classificação Nacional de Atividade Econômica (CNAE) do setor sucroenergético, ou seja, para os códigos 01.13-0: cultivo de cana-de-açúcar, 10.71-6: fabricação de açúcar em bruto, 10.72-4: fabricação de açúcar refinado, 19.31-4: fabricação de álcool etílico e 35.11-2: geração de energia elétrica (IBGE, 2017).

Figura 1 - Acidentes de trabalho do setor sucroenergético de 2011 a 2016



Fonte: Brasil (2012), (2014), (2016).

Em 2016, o setor sucroenergético representou 2% dos acidentes do trabalho no Brasil, enquanto a fabricação de açúcar representou 52% dos acidentes do setor sucroenergético (BRASIL, 2012; 2014; 2016)

Conforme apresentado na Figura 1, os acidentes do trabalho vêm diminuindo nos últimos anos, entretanto além do número ser bastante significativo, não se pode deixar de citar a potencialidade de graves acidentes no setor sucroenergético, tendo em vista a complexidade e o alto risco de suas atividades.

É possível encontrar alguns acidentes de altíssima gravidade na evaporação setor sucroenergético, objeto deste trabalho, como a explosão do fundo da caixa do pré-evaporador da Usina Vale do Rosário, em Morro Agudo (São Paulo), que provocou o lançamento de caldo de cana-de-açúcar e vapor com muita pressão, atingindo 52 colaboradores, sendo que 11 deles vieram a óbito. As causas apontadas pela direção da usina foram o pico de pressão, que superou as duas válvulas de segurança existentes, e a fadiga do material (ZONA DE RISCO, 2013).

Outro acidente grave ocorreu na Usina Benalcool, em Bento de Abreu, na região de Araçatuba (São Paulo), quando 4 colaboradores faziam manutenção na caixa de evaporação e uma válvula de vapor se rompeu, vindo a matar os 4 colaboradores. (FOLHA DA REGIÃO, 2002)

Diante do exposto, torna-se imprescindível a aplicação de ações para prevenir os acidentes de trabalho nas caixas de evaporação do setor sucroenergético. Como ação, pode-se proceder com a implantação de metodologias de identificação de perigos, análise e avaliação de riscos, no sentido de adotar medidas que visem eliminar ou minimizar os riscos a que os trabalhadores estão expostos.

A OIT (2011) cita a Análise Preliminar dos Riscos (APR) e o Estudo Perigos e Operabilidade (HAZOP) como técnicas bem documentadas no sentido de sistematizar a avaliação dos riscos em instalações com risco de acidentes industriais graves.

## 1.1 OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo realizar a avaliação dos riscos do processo, dos serviços de limpeza e de manutenção das caixas de evaporação de uma usina do setor sucroenergético.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Considerou-se identificar os perigos, analisar e avaliar os riscos da limpeza nas caixas de evaporação por ser uma atividade pesada, repetitiva, desgastante e insalubre e adicionalmente por ser realizada por uma empresa terceirizada, uma vez que gestão de terceiros em cumprimento aos requisitos de segurança e saúde no trabalho (SST) é de responsabilidade da autora do estudo.

Como o sistema de gestão de terceiros, na empresa em estudo, abrange diversos segmentos e tamanhos, a autora tem observado uma alta rotatividade dos colaboradores, aumentando assim o risco de acidentes, além do cumprimento dos requisitos legais de forma displicente, quando não apenas no papel.

Complementarmente, diante de um cenário de altas taxas de acidentes de trabalho no setor sucroenergético Brasileiro, das dificuldades financeiras que o setor vem enfrentando, dos equipamentos e instalações antigas, e a grande quantidade de atividades com alto potencial de risco, como as em espaços confinados e em vasos de pressão; decidiu-se realizar um estudo de caso nas caixas de evaporação do caldo de cana-de-açúcar, pois a falta de uma gestão de SST, assim como uma inadequada avaliação dos riscos pode ser fatal e envolver muitas vítimas.

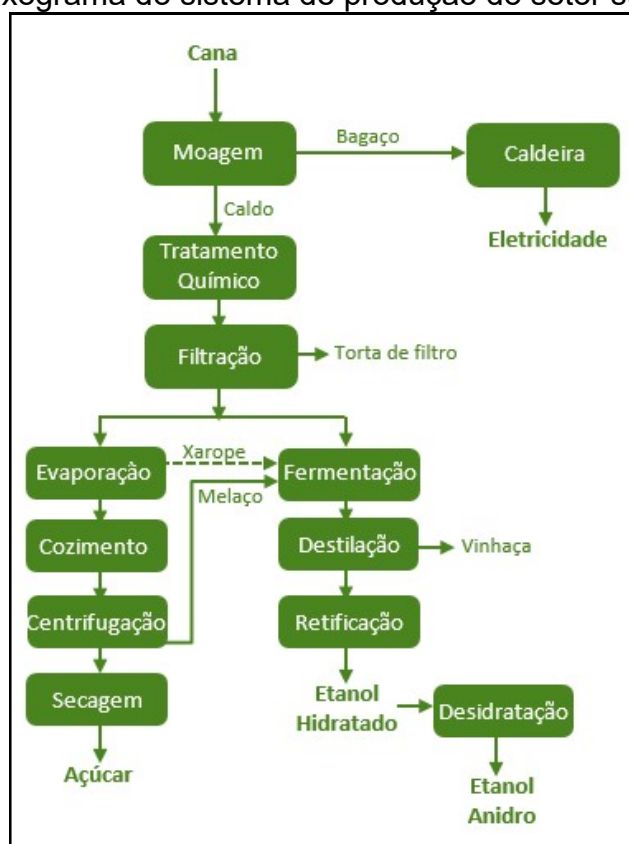
## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PROCESSO INDUSTRIAL DO SETOR SUCROENERGÉTICO

O processo industrial do setor sucroenergético se configura com uma importante flexibilidade de utilizar os açúcares da cana total ou parcialmente para produção de etanol ou açúcar, dependendo das condições de preço, demanda existente e perspectivas de mercado, pode arbitrar, dentro de limites, um programa de produção de mínimo custo e máximo benefício econômico (BNDES, CGEE, 2008).

O fluxograma simplificado do processo de produção de açúcar, etanol e energia são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do sistema de produção do setor sucroenergético



Fonte: Adaptado de Seabra (2008) apud BNDES, CGEE (2008).

Uma vez transportada até a usina, a cana é estocada ou diretamente enviada para moagem. Prevendo-se eventuais paradas no sistema de transporte, costuma-se manter uma certa quantidade de cana em estoque (sobre rodas), que deve ser renovado em curtos espaços de tempo para evitar a perda da sacarose (SEABRA, 2008).

De acordo com BNDES e CGEE (2008) a cana segue para a moagem passando pela lavagem (somente para cana inteira), sistema de preparo (através de picadores e desfibrador) seguindo para a extração, que no Brasil a grande maioria das usinas ocorre através de moendas, isto é, a extração do caldo se realiza sob pressão de rolos, montados em conjuntos com quatro a sete sucessivos ternos de moenda. No conjunto de rolos da moenda, o caldo, que contém a sacarose, é separado da fibra da cana-de-açúcar (bagaço), que segue para a planta de energia da usina, na qual é usada como combustível para gerar vapor e energia elétrica.

Com o objetivo de aumentar o rendimento da extração do caldo, utiliza-se a embebição, que consiste na adição de água ou caldo ao bagaço para diluir seu caldo remanescente, que de acordo com Santos (2007) a prática de moagem mais eficiente se extrai mais que 95% do teor de açúcar presente na cana.

O processo mais utilizado é a embebição composta, na qual a água é adicionada entre os dois últimos ternos da moenda, com retorno do caldo extraído do último terno para o anterior e, assim sucessivamente até o segundo terno (SEABRA, 2008).

O caldo, ao sair da moenda, passa pelo tratamento primário, para a eliminação das impurezas insolúveis (areia, argila, bagacilho, etc), e pelo tratamento químico (sulfitação e calagem). Com a sulfitação (adição de sulfito para baixar o pH do caldo), busca-se inibir as reações que causam formação de cor, coagular os coloides solúveis, precipitar o sulfito de cálcio e diminuir a viscosidade do caldo. Já a calagem (neutralização do caldo pela adição de cal) tem como objetivos a eliminação de corantes, a neutralização de ácidos orgânicos e a formação de sulfito e fosfato de cálcio, produtos que, ao sedimentar, arrastam consigo impurezas presentes no líquido (SEABRA, 2008).

Após o tratamento químico, o caldo é aquecido e segue para a filtração/decantação, onde serão separadas as impurezas floculadas (lodo). O lodo retirado é adicionado de bagacilho e filtrado para a recuperação de açúcar, e a torta residual (torta de filtro) é encaminhada à lavoura. O caldo clarificado (com 14 -16°Brix) segue para a concentração em evaporadores de múltiplos-efeitos, dando origem ao xarope, com aproximadamente 60°Brix (SEABRA, 2008).

De acordo com Seabra (2008), o xarope, ao sair dos evaporadores, é enviado para os cozedores, onde será formada a massa cozida: uma mistura com 91-93°Brix de 50% de cristais envolvidos em mel (solução açucarada). Dependendo da conveniência, pode-se trabalhar com sistemas de uma, duas ou três massas cozidas. Dos cozedores a massa cozida segue para os cristalizadores, para recuperar parte da sacarose que ainda se acha dissolvida no mel, e, então, é descarregada nas centrífugas.

Na centrífuga, os cristais de sacarose ficam retidos no cesto, onde são lavados com água e vapor. O mel removido é coletado e enviado, de volta, aos cozedores para a recuperação do açúcar dissolvido ainda presente, até que se atinja um maior esgotamento. A partir desse ponto, o mel passa a ser denominado mel final, ou melaço, e é enviado para a fabricação de álcool. O açúcar descarregado das centrífugas é encaminhado para a secagem para, finalmente, ser ensacado (SEABRA, 2008).

Por outro lado, a produção de etanol que pode se basear na fermentação tanto do caldo da cana, xarope, quanto de misturas de caldo e melaço, como é mais frequentemente praticada no Brasil. No caso de etanol de caldo direto, as primeiras etapas do processo de fabricação, da recepção da cana ao tratamento inicial do caldo, são semelhantes ao processo de fabricação do açúcar. Em um tratamento mais completo, o caldo passa pela calagem, aquecimento e decantação, assim como no processo do açúcar. Uma vez tratado, o caldo é evaporado para ajustar sua concentração de açúcares e, eventualmente, é misturado com o melaço, dando origem ao mosto (BNDES, CGEE, 2008).

### 2.1.1 Processo de evaporação do caldo

O caldo clarificado que sai do decantador apresenta cor variável entre o amarelo e o âmbar, quente (95°C), com mais 80% de água, geralmente brilhante, com um teor de sólidos solúveis variável, pois depende do processo adotado para a fabricação de açúcar e álcool e do processo de extração (14 a 17 ° Brix), conforme descrito por Chen (1996) e Delgado; César (1992) apud Santos (2007).

O caldo clarificado segue para o processo de evaporação, que consiste na eliminação do excesso de água, utilizando o vapor d'água, como fluido de aquecimento, a fim de obter o xarope, um líquido viscoso, denso, de cor variável entre o marrom e o caramelo, com concentração variando de 50° a 70° Brix, conforme tipo de açúcar a ser produzido (CASTRO, ANDRADE, 2006; SANTOS, 2007).

Conforme Santos (2007) é importante que a temperatura do caldo seja sempre tão próxima quanto possível da temperatura do vapor de alimentação do primeiro (pré) evaporador. Estando o caldo numa temperatura mais baixa, parte do calor latente do vapor é consumida para elevar o caldo a uma condição de ebulição, por outro lado se o caldo entra com uma temperatura mais alta que o ponto de ebulição, ocorre o “flash” ou uma auto evaporação, ou seja, a quantidade de calor requerida para evaporar a água será menor que o equivalente do calor latente. Para evitar um consumo de vapor excessivo e obter melhores resultados na evaporação, a maior parte das usinas atualmente passam o caldo clarificado em aquecedores antes deste seguir para os evaporadores.

Os evaporadores pertencem a duas classes: os de circulação forçada e os de circulação natural. Os evaporadores com circulação forçada são usados para soluções viscosas, salinas e soluções com formação de incrustação. Os evaporadores com circulação natural são usados individualmente ou em operações múltiplas para as necessidades mais simples da evaporação e se dividem em quatro tipos principais: tubo horizontal, tubo vertical fechado (calandra), tubo vertical com cesta e tubo vertical longo (SILVA, 2013).



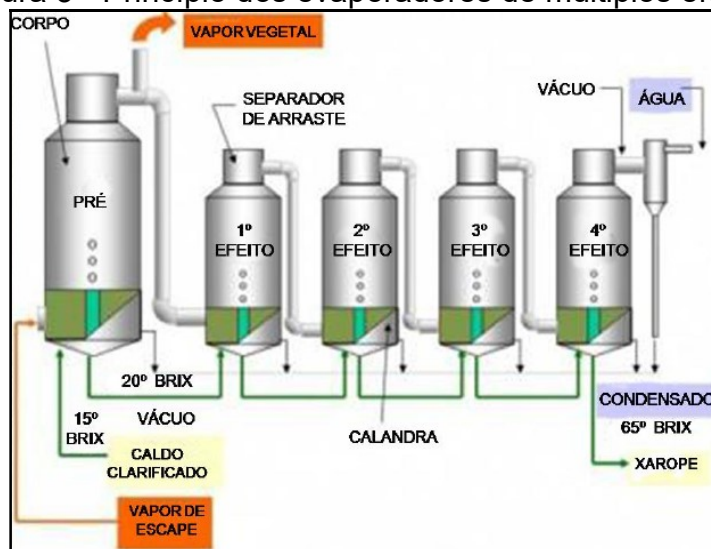
De acordo com Silva (2013) na indústria de processamento da cana-de-açúcar, o evaporador denominado Robert (clássico), ou do tipo calandra, continua sendo o mais usado. Esse evaporador é constituído principalmente por uma calandra tubular, na qual a transferência de calor ocorre da seguinte forma: o vapor de aquecimento envolve os tubos externamente e o caldo a ser evaporado está no interior dos tubos. Se a transmissão é feita por vapor saturado – parede, a mesma é eficiente; entretanto, se for usado vapor superaquecido, o coeficiente de transferência é muito baixo.

#### 2.1.1.1 Evaporadores de múltiplos efeitos

De acordo com Hugot (1977) o progresso mais importante na história da fabricação do açúcar foi o invento dos evaporadores de múltiplos efeitos em de 1830, na Lousiana, por Norbert Rillieux, americano de descendência francesa. A ideia de Rillieux consistiu em usar o vapor gerado pela evaporação da água do caldo (vapor vegetal) para aquecer outra parte do caldo, ou para terminar a evaporação iniciada com o vapor de escape.

Com o objetivo de manter a evaporação do caldo nos efeitos subsequentes, Rillieux colocou sob vácuo o corpo ou os corpos que vêm depois do primeiro. Assim, uma diferença de temperatura necessária era criada e utilizava-se o vapor vegetal fornecido pelo 1º corpo para aquecer o caldo do 2º, o vapor produzido pelo 2º para aquecer o 3º, e assim por diante, conforme ilustrado na Figura 3 (HUGOT, 1977).

Figura 3 - Princípio dos evaporadores de múltiplos efeitos



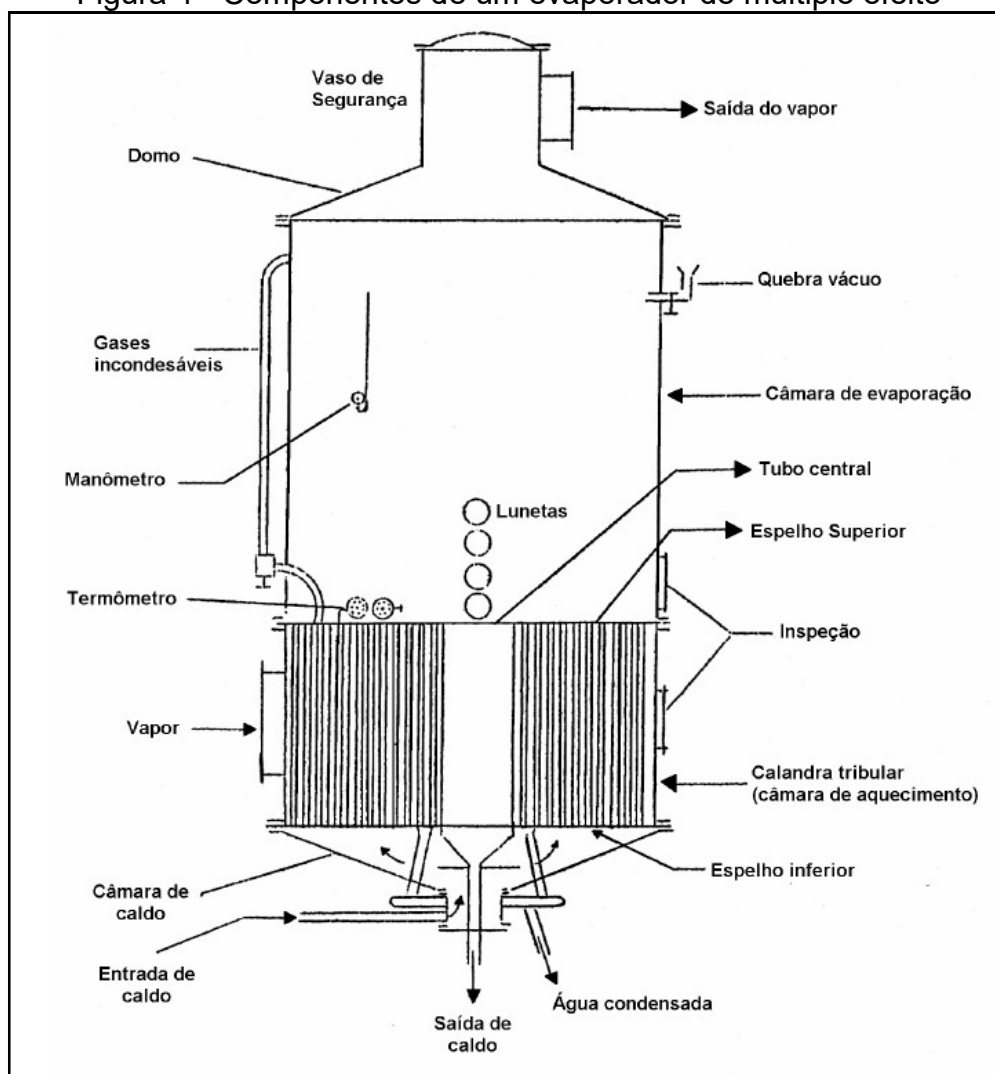
Fonte: Alcarde (2016).

Os evaporadores de múltiplos efeitos apresentam o inconveniente de exigir uma instalação para criar o vácuo necessário, entretanto a ebulição a vácuo apresenta duas grandes vantagens: aumenta a diferença total de temperatura entre vapor e o caldo, sendo igual à queda do ponto de ebulição do caldo entre a pressão do 1º e do último corpo e, além disso, permite continuar a evaporação com temperaturas menos prejudiciais, sob o ponto de vista da inversão e da coloração do caldo, à medida que o caldo se torna mais concentrado e mais viscoso (HUGOT, 1977).

De acordo com Santos (2007) a evaporação do caldo de cana na maioria das usinas de açúcar do Brasil é realizada em evaporadores com quatro efeitos, entretanto atualmente, de forma a aumentar a capacidade de evaporação, tem-se instalado um quinto vaso, conhecido como pré-evaporador, que na prática funciona como uma primeira etapa da evaporação, o que faz com que esta operação seja realizada em um quádruplo-efeito.

O corpo de um evaporador de múltiplo efeito é formado por duas partes: cilindro superior ou câmara de evaporação e a calandra tubular ou câmara de aquecimento, conforme ilustrado na Figura 4. Nessas duas câmaras são construídas entradas para inspeção, situadas próximo do espelho superior da calandra e medem de 50 a 80 centímetros de diâmetro (SANTOS, 2007).

Figura 4 - Componentes de um evaporador de múltiplo efeito



Fonte: Delgado e Cesar (1992) apud Santos (2007).

A seguir descreve-se, os principais componentes de um evaporador de múltiplo efeito.

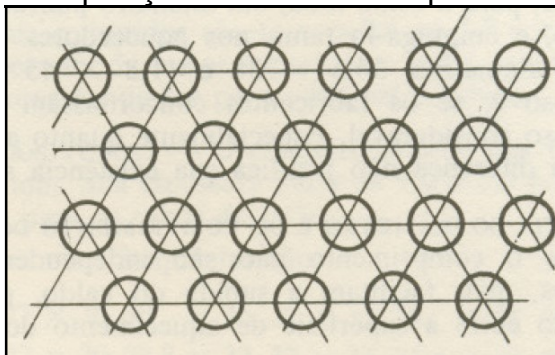
- **Câmara de evaporação:** é fechada pelo domo e pelo vaso de segurança. O vaso de segurança é provido de saída lateral para o vapor resultante da evaporação do caldo na calandra. Ela é também dotada de diversas lunetas de vidro, que permitem a observação do caldo em ebulição, dando uma ideia do nível do mesmo. Adicionalmente são instalados manômetros, termômetros, etc (SANTOS, 2007).

A câmara das evaporações constitui um espaço significativo do equipamento, sendo este ocupado por vapores resultantes da ebulição do caldo, cujo o nível superior não deve ultrapassar o espelho superior. O objetivo principal desta

câmara é diminuir os riscos de que as gotículas de caldo em evaporação sejam arrastadas (HUGOT, 1977).

- Câmara de aquecimento ou calandra tribular é formada basicamente por dois espelhos metálicos furados, os quais são interconectados por tubos metálicos, presos nos furos por mandrilamento, dentro de um corpo em aço carbono (SANTOS, 2007). A Figura 5 representa a disposição dos tubos no espelho da calandra, permitindo assim colocar maior número de tubos na superfície do espelho (HUGOT, 1977).

Figura 5 - Disposição dos tubos no espelho da calandra



Fonte: Hugot (1977).

De acordo com Santos (2007) os tubos da calandra podem ser de aço carbono, de cobre, de latão ou, mais recentemente, de aço inoxidável, que apresenta maior eficiência.

- Tubo central: localizado na parte central da calandra tem a finalidade de trazer para o fundo o caldo lançado acima do espelho superior. Muitas vezes, este tubo é utilizado para recolher o caldo concentrado a ser destinado ao evaporador seguinte (HUGOT, 1977).
- Entrada de vapor: é admitida pela parte lateral da calandra. Em aparelhos de pequena capacidade, uma entrada de vapor é suficiente, já em aparelhos maiores, duas ou mais entradas permitem uma melhor e mais rápida distribuição do vapor de aquecimento por toda a calandra (SANTOS, 2007).

Santos (2007) explica que o vapor, cedendo o seu calor latente de vaporização ao caldo em circulação na calandra, condensa-se, mantendo-se, praticamente, na mesma temperatura do vapor original. Posteriormente a

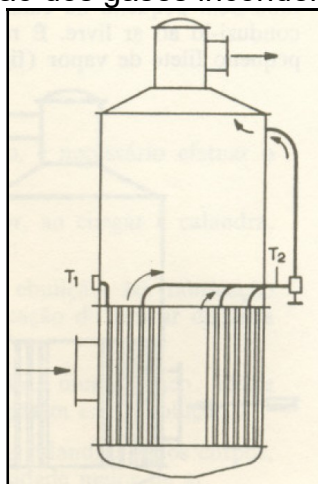
certo tempo a quantidade de água condensada vai aumentando, podendo chegar a obstruir o espaço de aquecimento.

- Água condensada: retirada continuamente para o bom funcionamento do sistema de evaporação. A drenagem destes condensados podem ser através de purgadores, bomba de ar úmido, drenos barométricos, sifões em “U” e vasos de expansão.

As águas condensadas apresentam um pH variando de 5,5 a 9 (a 25°C), sendo compostas principalmente por oxigênio (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre amônia, ácidos orgânicos, aldeídos, álcool metílico e outros álcoois (HONIG, 1969 apud HUGOT, 1977).

- Gases incondensáveis: são compostos por ar e gases estranhos que entram na calandra juntamente com o vapor. Esses gases são formados quase que unicamente pelo ar, podendo apresentar amoníaco, derivado da decomposição de substâncias nitrogenadas, principalmente na fabricação de açúcar de beterraba. Os gases incondensáveis, são encontrados principalmente em evaporadores aquecidos com vapor vegetal sob vácuo, e devem ser retirados progressivamente, conforme Figura 6, caso contrário estes se acumulam na calandra e diminuem/interrompem a evaporação (HUGOT, 1977).

Figura 6 - Expulsão dos gases incondensáveis sob vácuo

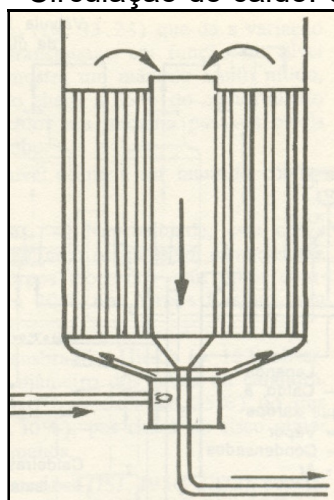


Legenda: T1 e T2: Termômetros utilizados na regulação das válvulas.

Fonte: Hugot (1977).

- Vaso de segurança ou separador de arraste: tem por finalidade dar vazão ao vapor que procede da parte inferior da câmara de evaporação, devendo estar equipada para reter as gotículas de líquido de um vaso ao outro. As pequenas gotículas de caldo em ebulição, muito leves, são arrastadas pelo vapor para o vaso seguinte. Como a taxa de arrastamento é diretamente proporcional ao vácuo, devido a maior velocidade do vapor, verifica-se que este fenômeno mais intenso nos últimos vasos (SANTOS, 2007).
- Entrada do caldo na câmara de caldo: apresenta vários métodos de alimentação do caldo dos corpos sucessivos, sendo destacado o de fundo a fundo com circulação do tipo Chapman (Figura 7). Este método consiste simplesmente em fechar a abertura inferior do tubo central por uma espécie de funil, o qual sai o caldo para o corpo seguinte com excelentes resultados (HUGOT, 1977).

Figura 7 - Circulação do caldo: Chapman



Fonte: Hugot (1977).

#### 2.1.1.2 Formação dos depósitos e incrustações

Durante o funcionamento dos evaporadores de múltiplo-efeito, os tubos de troca de calor, localizados na calandra, sujam-se externamente e internamente.

Externamente, forma-se um depósito de óleo, causado pelo vapor, no pré-evaporador ou no primeiro efeito com óleo arrastado pelo vapor de escape; bem

como nos demais efeitos pelas gotículas de caldo que foram arrastadas pelo vapor e que não foram devidamente retidas no separador de arraste (SANTOS, 2007).

Segundo Santos (2007) os depósitos externos não têm merecido a atenção devida, mesmo com os prejuízos na transmissão de calor pelos tubos. Esses depósitos podem ser evitados pela instalação de um separador de óleo no trajeto do vapor ou pela imersão da calandra com solução de soda cáustica no período de entressafra.

O depósito pior é a formação das incrustações nas paredes internas das tubulações, com origem de matérias em suspensão no caldo, que ocorre devido à má clarificação do caldo e são depositadas principalmente no 1º evaporador e os não açúcares em solução que se tornam insolúveis com a concentração do caldo, depositando sobretudo nos últimos corpos (HUGOT, 1977).

Conforme Hugot (1977) as incrustações são formadas por:

- Sais de cal: fosfato sulfato, oxalato, carbonato de cálcio. Os fosfatos diminuem, enquanto os sulfatos aumentam, do 1º ao último evaporador.
- Óxidos metálicos: de magnésia, de alumínio e de ferro.
- Silício, que aumenta com a posição do evaporador e forma a maior parte do depósito do último evaporador.
- Sulfitos: ocorre em usinas com sulfitação

As incrustações sulfatadas são as mais duras e as silicosas são porosas e por isso são mais moles na maioria dos casos (HUGOT, 1977).

As formações de incrustações nas tubulações são influenciadas pela:

- composição do caldo que depende, principalmente, da variedade da cana, tipo de solo cultivado, sistema de colheita da cana, estado de limpeza da cana, sistema de lavagem da cana, grau de extração das moendas.
- peneiramento do caldo,
- qualidade do cal, do enxofre e dos aditivos de clarificação,
- processo de clarificação,
- nível de caldo nas calandras dos evaporadores,
- velocidade de circulação de caldo nos diversos vasos,

- condição de vácuo nos evaporadores,
- operação do múltiplo efeito,
- polimento interno dos tubos (SANTOS, 2007).

Hugot (1977) destaca que além do controle do eventual excesso de cal na calagem e da utilização de magnésia não se pode extinguir a formação das incrustações nas tubulações, entretanto alguns cuidados no funcionamento da evaporação são importantes. Manter um mínimo volume de caldo em percurso, um andamento acelerado e um alto coeficiente de evaporação contribuem para uma menor deposição.

Essas incrustações atuam como um isolante térmico diminuindo, significativamente, o coeficiente total de transmissão de calor, interferindo diretamente na eficiência da evaporação e na quantidade de vapor necessária para realizar a troca (SANTOS, 2007). Desta forma, são necessárias paradas periódicas para limpeza dos evaporadores.

### **2.1.2 Limpeza nos evaporadores**

A limpeza nos evaporadores tem como objetivo remover as incrustações formada no interior dos tubos do equipamento devido ao aquecimento do caldo de cana-de-açúcar e está diretamente relacionado com a eficiência do processo de evaporação do caldo. Este procedimento demanda tempo e traz riscos à saúde e segurança dos trabalhadores e a produtividade do processo. A limpeza dos evaporadores varia de acordo com o método, sendo os principais mecanismos:

- Mecânico;
- Químico;
- Biológico.

A grande maioria das indústrias do setor sucroenergético realiza a limpeza nos evaporadores por método mecânico (MUSETTI et al, 2016), utilizando raspadores



que podem ser de dois modelos: “rasquete” e o “chicote flexível” ou “vibratório” (SANTOS, 2007).

De acordo com Santos (2007) o raspador do tipo rasquete é menos frequente e é composta por um varão metálico em cuja a ponta é acoplado um elemento de aço que age com certa pressão ao passar pelo tubo. Esta peça deve ser compatível com o diâmetro da tubulação e trocada frequentemente, devido ao grande desgaste no processo de limpeza.

O raspador do tipo vibratório é mais comum, sendo composto por um motor elétrico que proporciona um movimento muito rápido a um cabo flexível de vários metros de comprimento, em cuja a extremidade é acoplado um raspador mecânico, conforme Figura 8. Esse raspador é constituído por três conjuntos de rosetas, as quais pelo movimento centrífugo adquirido pela vibração do cabo se projetam contra as paredes do tubo. Está técnica pode ser feita a seco ou combinada com água, que dilui e facilita o arraste das partículas sólidas para fora do tubo (SANTOS, 2007).

Figura 8 - Equipamentos para limpeza mecânica do tipo vibratório



Legenda: motor elétrico, cabos rotativos e rosetas rotativas metálica.  
Fonte: Ferreira (2013).

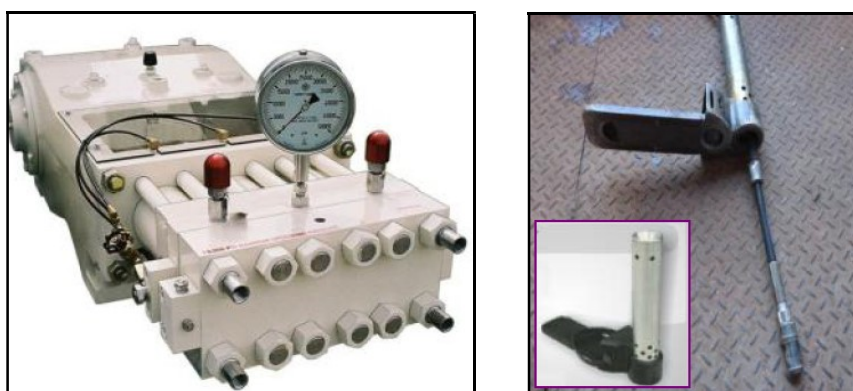
Santos (2007), cita outro método de limpeza mecânica, o hidrojateamento, que mesmo com altos riscos físicos e alto consumo de água vem ganhado adeptos no Brasil (Figura 9). Este método utiliza bombas de alta pressão, mangueiras flexíveis e lanças que são suficientes para desagregar todos os tipos de incrustações, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 9 - Trabalho em espaço confinado: evaporador de caldo



Fonte: Ferreira (2013).

Figura 10 - Equipamentos para limpeza mecânica: hidrojateamento

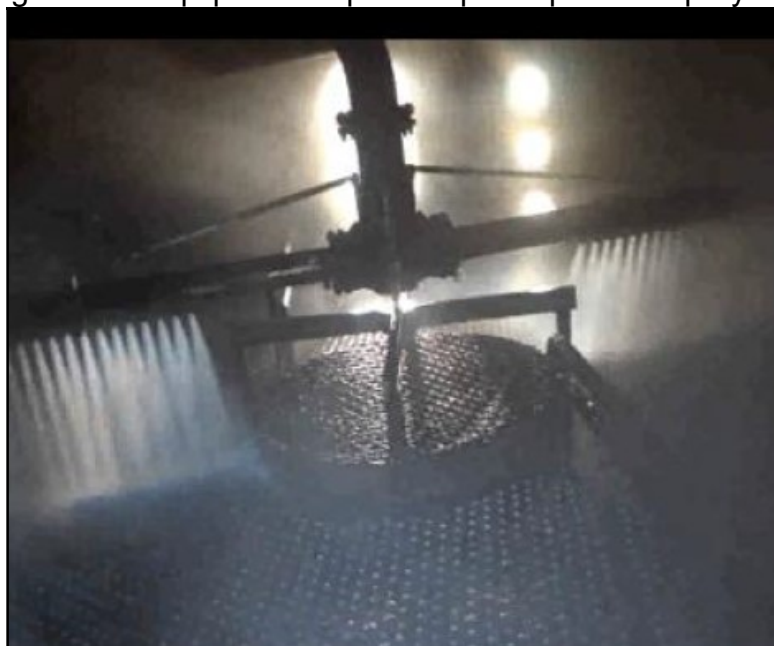


Legenda: bomba de alta pressão com regulador de pressão pneumática, mangueira no interior do Tubo Jet (dispositivo de segurança) e bicos rotativos.

Fonte: Ferreira (2013).

De acordo com Ferreira (2013) o método de limpeza química consiste na recirculação automática de detergentes, soluções alcalinas e/ou básicas ou soluções de enxague, agregada a uma vazão, concentração, pressão, temperatura e tempo de imersão, conforme o tipo da incrustação. A recirculação pode ser feita por bombeamento direto ou através de picos de spray ball, conforme Figura 11, ou rotativos para melhor eficiência da limpeza.

Figura 11 - Equipamento para limpeza química: spray ball



Fonte: Ferreira (2013).

A soda cáustica e o ácido muriático são os produtos químicos mais empregados na limpeza das caixas de evaporação no setor sucroenergético, entretanto o ácido muriático vem sendo evitado, devido ao desgaste que acarreta nos tubos (SANTOS, 2007).

A soda cáustica é parcialmente efetiva para a remoção de incrustações compostas por sílicas, silicatos, proteínas, polissacarídeos e produtos orgânicos, entretanto é ineficiente para as compostas principalmente de fosfato de cálcio, oxalato de cálcio, aconitato de cálcio, sulfato de cálcio e carbonato de cálcio (FERREIRA, 2013).

Santos (2007) cita que a solução de soda usada é de 6 a 8% e pode ser utilizada nos diversos efeitos até a altura do espelho superior, abrindo o vapor para a solução ferver a pressão atmosférica. A duração do tratamento é de 4 a 8 horas, dependendo da natureza da incrustação. A solução de soda é descarregada e estocada para futuro uso, após a correção da concentração.

A Figura 12 apresenta um comparativo das vantagens e desvantagens dos principais métodos de limpeza das caixas de evaporação do setor sucroenergético.

Figura 12 - Comparativo entre os principais métodos de limpeza das caixas de evaporação do setor sucroenergético

	<b>Mecânico com Roseta</b>	<b>Mecânico com Hidrojateamento</b>	<b>Químico</b>
<b>Trabalho interno (espaço confinado)</b>	Sim	Sim	Não
<b>Quantidade de mão de obra</b>	Alta	Alta	Baixa
<b>Complexidade da Operação</b>	Simples	Média	Alta
<b>Indisponibilidade do Evaporador <sup>1</sup></b>	Alta	Alta	Baixo
<b>Eficiência na limpeza</b>	Variável <sup>2</sup>	Boa	Variável <sup>3</sup>
<b>Custo de instalação</b>	Baixo	Alto	Alto
<b>Manutenção nos itens instalados</b>	Alta <sup>4</sup>	Baixa	Baixa
<b>Custos de operação (R\$)<sup>5</sup></b>	12,25/m <sup>2</sup> 0,10/TC	10,15/m <sup>2</sup> R\$ 0,05/TC	17,40/m <sup>2</sup> 0,21/TC
<b>Risco de formação gases</b>	Baixo	Baixo	Alto
<b>Consumo de Água</b>	Baixo	Alta	Médio

Legenda: <sup>1</sup> Tempo de parada, resfriamento, limpeza

<sup>2</sup> Eficiência depende da qualidade da operação

<sup>3</sup> Eficiência depende dos produtos utilizados

<sup>4</sup> Excessiva manutenção devido ao desgaste dos tubos

<sup>5</sup> m<sup>2</sup>: metro quadrado de evaporação; TC: tonelada de cana

Fonte: Adaptado de Ferreira (2013); Santos (2007); Musetti et al. (2016).

Santos (2007) recomenda a associação das limpezas mecânicas e química (soda) para incrustações muito intensas ou resistentes, particularmente no final da safra, pois se dispõe de bastante tempo para os dois tratamentos.

A limpeza biológica consiste em adicionar em cada calandra do múltiplo efeito uma solução diluída de melaço, seguida de mosto e fermento. Além do gás carbônico produzido pela fermentação formam-se ácidos que atacam as incrustações, deixando o feixe tubular completamente limpo. Este processo é pouco usado, por ser muito demorado, entretanto é um processo muito mais eficiente e de custo menor que os processos anteriores (CASTRO; ANDRADE, 2006).

Ferreira (2013) ainda cita outros métodos de limpezas para as caixas de evaporadores, como os inibidores de incrustação (ácido sulfâmico, tetrafosfo glucasato de cal, magnésia moída, poliacrilato, ácido acrílico e EDTA), aparelhos de ionização do caldo e limpeza por onda sônica hidrocínética.

## 2.2 GESTÃO DE RISCOS DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO

A SST é a parte da engenharia que trata da prevenção de incidentes, acidentes e das doenças profissionais bem como da proteção e promoção da saúde dos trabalhadores. A SST tem como objetivo melhorar as condições e o ambiente de trabalho, através da antecipação, identificação, avaliação e o controle dos riscos com origem no local de trabalho, ou daí decorrentes, que possam deteriorar a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, sendo estes os princípios fundamentais da gestão de riscos (OIT, 2011).

A seguir definem-se alguns termos fundamentais para a gestão de risco de SST:

- Gestão de risco: “atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que se refere a riscos” (NBR ISO 31000, 2009, p. 2);
- Risco: “efeito da incerteza nos objetivos” (NBR ISO 31000, 2009, p. 1); “combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento ou exposição perigosa e a gravidade da lesão ou doença que pode ser causada pelo evento ou exposição.” (OHSAS 18001, 2007, p. 4);
- Perigo: “fonte, situação ou ato com um potencial para dano em termos de prejuízo humano ou doença, ou uma combinação destes” (OHSAS 18001, 2007, p. 2);
- Identificação do perigo; “processo de reconhecimento de que um perigo existe e definição de suas características” (OHSAS 18001, 2007, p. 3);
- Probabilidade: “chance de algo acontecer” (NBR ISO 31000, 2009, p. 5);
- Consequência: “resultado de um evento que afeta os objetivos” (NBR ISO 31000, 2009, p. 5); na OHSAS 18001 (2007, p. 4) é chamada de gravidade;
- Incidente: “evento relacionado ao trabalho no qual ocorreu ou poderia ter ocorrido lesão ou doença ou morte” (OHSAS 18001, 2007, p. 3);
- Acidente: “incidente que ocasionou lesão, doença ou morte” (OHSAS 18001, 2007, p. 3).
- Conforme a NBR ISO 31000 (2009) a gestão de risco é aplicada para todos os tipos e tamanhos de organizações, pois todas enfrentam influencias e fatores internos e externos que tornam incerto o atingimento do seu objetivo.

Para que as organizações consigam gerenciar os riscos de forma eficaz, eficiente e coerentemente, a NBR ISO 31000 (2009) propõe princípios, uma estrutura e um processo de gestão de riscos.

Segue os princípios estabelecidos pela NBR ISO 31000 (2009), onde a gestão de risco:

- cria e protege valor;
- é parte integrante de todos os processos organizacionais;
- é parte da tomada de decisões;
- aborda explicitamente a incerteza;
- é sistemática, estruturada e oportuna;
- baseia-se nas melhores informações disponíveis;
- é feita sob medida;
- considera fatores humanos e culturais;
- é transparente e inclusiva;
- é dinâmica, iterativa e capaz de reagir a mudanças.
- facilita a melhoria contínua da organização.

A estrutura da gestão de riscos fornece os fundamentos e os arranjos recomendados pela NBR ISO 31000 (2009) para definição e implantação em toda a organização, em todos os níveis. A estrutura é composta por cinco grandes componentes que são apresentadas a seguir de forma simplificada.

O mandato e comprometimento forte e sustentado pela administração e todos os níveis da organização são indispensáveis para um planejamento rigoroso e estratégico, assim como a eficácia contínua da gestão de risco (NBR ISO 31000, 2009).

A concepção da estrutura para gerenciar riscos é composta pelo: entendimento da organização e seu contexto, estabelecimento da política de gestão de riscos, definição da responsabilização em todos os níveis, definição da integração da gestão de riscos com os processos organizacionais, determinação dos recursos necessários (pessoas, métodos, ferramentas, procedimentos, gestão da informação e realização de treinamentos), estabelecimento de mecanismos de comunicação e

reporte internos e externos, que são de extrema importância para informar e conquistar a confiança das partes interessadas (NBR ISO 31000, 2009).

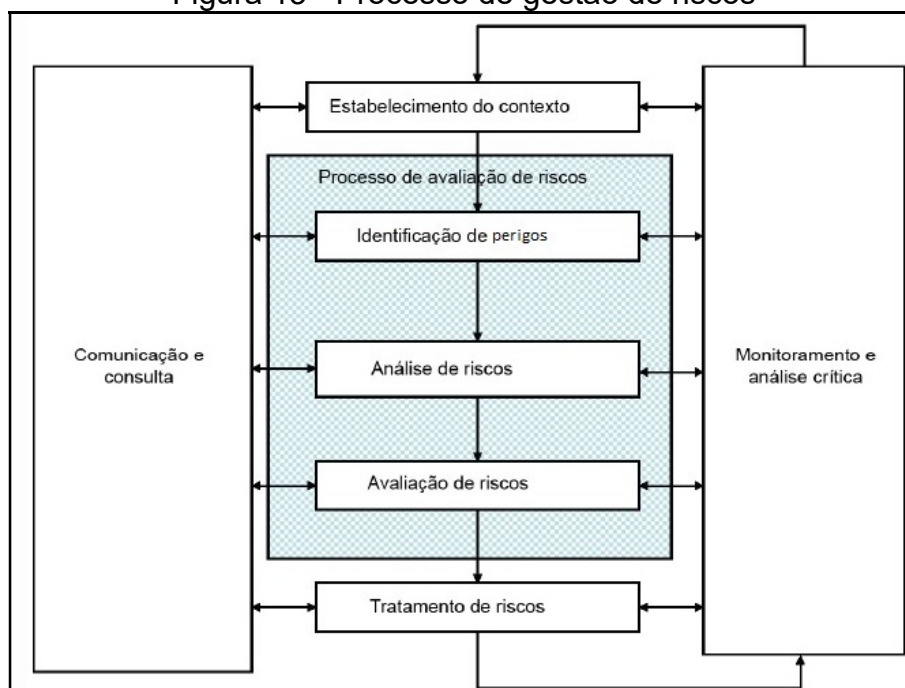
A implementação da gestão de riscos contempla a implementação da estrutura para gerenciar riscos e a implementação do processo de gestão de riscos que será descrito a seguir, através de um plano de gestão de riscos, em todos os níveis e funções pertinentes da organização, como parte de suas práticas e processos (NBR ISO 31000, 2009).

O monitoramento e análise crítica da estrutura tem como objetivo medir o desempenho da gestão de risco utilizando indicadores, os quais devem ser analisados criticamente, de forma periódica, para garantir sua adequação e eficácia da estrutura da gestão de riscos (NBR ISO 31000, 2009).

A melhoria contínua da estrutura é realizada com base nos resultados do monitoramento e das análises críticas, onde as decisões são tomadas sobre como a política, o plano e a estrutura da gestão de riscos podem ser melhorados (NBR ISO 31000, 2009).

A estrutura descrita anteriormente auxilia a gerenciar riscos eficazmente através da aplicação do processo de gestão de riscos, apresentado na Figura 13, em diferentes níveis e dentro de contextos específicos da organização. A estrutura assegura que a informação sobre riscos proveniente desse processo seja adequadamente reportada e utilizada como base para a tomada de decisões e a responsabilização em todos os níveis organizacionais aplicáveis (NBR ISO 31000, 2009).

Figura 13 - Processo de gestão de riscos



Fonte: Adaptado de NBR ISO 31000 (2009).

A comunicação e consulta às partes interessadas internas e externas acontecem durante todas as fases do processo de gestão de riscos e tem papel fundamental para determinar o risco, suas causas, suas consequências e as medidas que estão sendo tomadas para tratá-los. As partes interessadas agregam nesse processo, devido a sua diversidade de percepções como diferentes valores, necessidades, suposições, conceitos e preocupações que contribuem na identificação de impactos significativos e nas tomadas decisões (NBR ISO 31000, 2009).

O estabelecimento do contexto consiste em entender o contexto externo e interno para assegurar que os objetivos da organização e as preocupações das partes interessadas sejam consideradas no desenvolvimento dos critérios de avaliação de risco, ou seja, o grau em que se irá tolerar ou tratar um risco. O contexto externo é baseado no contexto de toda a organização, com atenção especial aos requisitos legais e regulamentares e às percepções das partes interessadas. O contexto interno deve estar alinhado à cultura, estrutura, objetivos e estratégia da organização, além de considerar os objetivos, os critérios e as particularidades do processo ou atividade cujos riscos serão avaliados (NBR ISO 31000, 2009; USP, 2017).



O processo de avaliação de riscos conforme definido pela NBR ISO 31000 (2009) é o processo global de identificação de riscos, análise de riscos e avaliação de riscos e será tratado em um item específico (2.3), devido a importância do tema para o desenvolvimento do trabalho.

O monitoramento e análise crítica devem ser planejados como parte do processo de gestão de riscos, envolvendo a checagem ou vigilância regulares, podendo ser periódicos ou acontecer em resposta a um fato específico, com finalidade principal de estabelecer a melhoria continua no processo de avaliação dos riscos. Convém que os resultados do monitoramento e da análise crítica sejam registrados e reportados externa e internamente conforme apropriado e utilizados como entrada para a análise crítica da estrutura de gestão de riscos (NBR ISO 31000, 2009).

O tratamento de riscos é o processo para modificar o risco (NBR ISO 31000, 2009) e está detalhado no subitem (2.3.4).

## 2.3 AVALIAÇÃO DOS RISCOS

O processo de gestão de riscos tem em seu eixo central, o que a OHSAS 18001 (2007) chama de identificação de perigos, avaliação de riscos e determinação de controles, já a NBR ISO 31000 (2009) apresenta como um subprocesso, o processo de avaliação de riscos, em destaque na Figura 13.

Destaca-se que a definição de “fontes de riscos”, “identificação dos riscos” e “eventos” da NBR ISO 31000 (2009) são melhor compreendidas para a SST como “perigos”, “identificação dos perigos” e “incidentes potenciais”, respectivamente, o qual passam a ser adotadas neste trabalho (USP, 2017).

O processo de avaliação de riscos, principal objeto deste trabalho, consiste em identificar os perigos, analisar e avaliar os riscos que estão descritos nos itens a seguir.

### 2.3.1 Identificação dos perigos

A identificação dos perigos é um processo de busca, reconhecimento e descrição dos perigos, áreas de impactos, eventos, suas causas e consequências potenciais. A finalidade desta etapa é gerar uma lista abrangente de perigos baseada nestes eventos que possam criar, aumentar, evitar, reduzir, acelerar ou atrasar a realização dos objetivos. Destaca-se que a identificação abrangente é crítica, pois um perigo que não é identificado nesta fase não será incluído em análises posteriores (NBR ISO 31000, 2009).

A identificação de perigos pode envolver dados históricos, análises teóricas, opiniões de pessoas informadas e especialistas, e as necessidades das partes interessadas. Adicionalmente, se recomenda que a organização aplique ferramentas e técnicas de identificação de perigos que sejam adequadas aos seus objetivos e capacidades e aos riscos enfrentados, sendo necessárias pessoas com um conhecimento adequado para a aplicação destas ferramentas e identificação dos perigos (NBR ISO 31000, 2009).

A NBR ISO 31010 (2009) cita como método de identificação de perigo as técnicas de raciocínio indutivo, como o HAZOP (traduzido como Estudo de perigo e operabilidade) que será detalhado no item 2.5. Enquanto a USP (2017) cita a Análise preliminar de perigos (APP) que é uma técnica estruturada capaz de identificar os perigos presentes numa instalação.

A APP se inicia com uma explicação sobre o sistema em estudo, e o grupo envolvido procura, baseado na sua experiência e competência, identificar os eventos indesejáveis. A partir desta identificação o grupo procura descrever quais seriam as causas prováveis destes eventos e quais as suas consequências, efeitos. Terminada esta fase, o grupo deve classificar cada evento identificado conforme a Figura 14 e propor ações ou medidas de prevenção e/ou proteção para diminuir as probabilidades de ocorrência do evento ou para minimizar suas consequências (USP, 2017).

Figura 14 - Exemplo de planilha para Análise preliminar de perigos (APP)

Perigo	Causa	Efeito	Severidade	Recomendações

Fonte: Adaptado de USP (2017).

A APP Modificada ou APR é uma variação da APP que permite avaliar de maneira mais uniforme e menos subjetiva os perigos identificados, uma análise e avaliação dos riscos, detalhado no item 2.4.

### 2.3.2 Análise do risco

A análise de riscos é um processo de compreensão profunda da natureza do risco e determinar o nível ou a estimativa dos riscos. Destaca-se que a análise de riscos fornece a base para a avaliação de riscos e para as decisões sobre o tratamento de riscos (NBR ISO 31000, 2009).

Inicialmente e um dos principais objetivos de uma análise de riscos é conhecer o processo/atividade, o que nem sempre é óbvio saber como as coisas funcionam ou o que faz com que elas acabem dando errado. A definição cuidadosa dos componentes ou elementos envolvidos num processo/atividade e a identificação de suas relações entre si ajuda que eventos, sistemas e equipamentos sejam percebidos de uma maneira diferente, permitindo novas visões sobre as complexidades desses processos/atividades, assim como analisar seus riscos de forma aprofundada e compartilhada (USP, 2017).

A análise de riscos envolve a apreciação das causas e as fontes de risco, assim como a determinação das suas consequências, e a probabilidade de que essas consequências possam ocorrer (NBR ISO 31000, 2009).

A NBR ISO 31000 (2009) recomenda que a forma em que as consequências e a probabilidade são expressas e o modo com que elas são combinadas para

determinar um nível de risco reflitam o tipo de risco, as informações disponíveis e a finalidade para a qual a saída do processo de avaliação de riscos será utilizada.

Salienta-se que a confiança na determinação do nível de risco e sua sensibilidade a condições prévias e premissas sejam consideradas na análise e comunicadas eficazmente para os tomadores de decisão e, quando apropriado, a outras partes interessadas (NBR ISO 31000, 2009).

A análise de riscos pode ser realizada com diversos graus de detalhe, dependendo do risco, da finalidade da análise e das informações, dados e recursos disponíveis. Dependendo das circunstâncias, a análise pode ser qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa, ou uma combinação destas (NBR ISO 31000, 2009).

A Figura 15 apresenta uma visão macro das principais ferramentas de análise de risco, uma vez que a NBR ISO 31010 (2009) cita 31 ferramentas.

Figura 15 - Principais ferramentas de análise de risco

<b>Ferramenta</b>	<b>Características</b>	<b>Palavra-chave</b>
<b>WRAC<sup>1</sup></b> (Avaliação e controle dos riscos no local de trabalho); <b>APR</b> (Análise preliminar de riscos)	Análise preliminar; Hierarquização dos riscos; Método de valoração semiquantitativo.	Tarefas (rotineiras e não rotineiras)
<b>FMECA<sup>2</sup></b> (Análise dos modos de falha, efeito e criticidade)	Avalia a confiabilidade de um sistema; Análise da probabilidade de falha de cada componente e seu efeito no sistema; Avaliação da criticidade (grau de risco) de cada falha; Método de valoração semiquantitativo.	Confiabilidade
<b>HAZOP<sup>3</sup></b> (Estudo de perigos e operabilidade)	Análise de processos e operações; Utiliza combinação de palavras-guia com as variáveis de processo para analisar possíveis desvios do processo; Método de valoração qualitativo.	Variáveis de processo
<b>FTA<sup>4</sup></b> (Análise de árvore de falhas)	Análise dos eventos que contribuem para a ocorrência de um efeito topo; Bastante útil na investigação de acidentes, bem como na avaliação dos controles para evitar sua ocorrência; Método de valoração qualitativo ou quantitativo.	Contribuidores
<b>ETA<sup>5</sup></b> (Análise de árvore de eventos)	Análise das consequências de um evento iniciador; Procura modelar diferentes cenários de acidentes a partir de um evento iniciador; Útil na avaliação dos controles existentes e a serem implementados para mitigação das consequências; Método de valoração qualitativo ou quantitativo.	Consequências
<b>BTA<sup>6</sup></b> (Análise da gravata borboleta)	Apresenta as ameaças e as consequências de um determinado cenário em um único diagrama, na forma de gravata borboleta; Combina a FTA à esquerda do evento topo com a ETA à direita do evento; Método de valoração qualitativo.	Controles
<b>SLAM<sup>7</sup></b> (Pare, olhe, avalie e gerencie)	Ferramenta de análise individual; Usada antes do início de uma tarefa na avaliação do seu entendimento da tarefa e os riscos envolvidos em sua execução; Não está atrelado a nenhum método específico de valoração de risco, sendo baseado apenas na experiência do executante da tarefa.	Auto reflexão

Legenda: as ferramentas apresentam as siglas em inglês: <sup>1</sup> *Workplace Risk Assessment and Control*; <sup>2</sup> *Failuremode, Effect and Criticality Analysis*; <sup>3</sup> *Hazard and Operability Studies*; <sup>4</sup> *Fault Tree Analysis*; <sup>5</sup> *Event Tree Analysis*; <sup>6</sup> *Bow Tie Analysis*; <sup>7</sup> *Stop, Look, Assess and Manage*.

Fonte: Adaptado de NBR ISO 31010 (2009); USP (2017).

Considerando a empresa, objeto deste estudo, decidiu-se a adoção da APR por já ser uma técnica em uso na empresa e adicionalmente foi sugerida, pela própria empresa, de forma complementar a aplicação da técnica HAZOP para o desenvolvimento deste trabalho. Nos itens 2.4 e 2.5 serão apresentadas essas duas ferramentas com maiores detalhes.

### **2.3.3 Avaliação do risco**

A avaliação de riscos é o processo de comparar os resultados da análise de riscos com os critérios de risco para determinar se o risco e/ou sua magnitude é aceitável ou tolerável, priorizando o tratamento de riscos que precisam ser implementados (NBR ISO 31000, 2009).

A avaliação de risco tem como finalidade auxiliar o gestor na tomada de decisão, fornecendo um indicativo à equipe, conforme o critério previamente escolhido (por exemplo, uma pontuação que combina probabilidades e consequências). Permitindo priorizar os tratamentos que precisarão ser implementados (USP, 2017).

### **2.3.4 Tratamento de riscos**

De acordo com a NBR ISO 31000 (2009) o tratamento de riscos é definido como o “processo para modificar o risco” e pode envolver:

- a ação de evitar o risco pela decisão de não iniciar ou descontinuar a atividade que dá origem ao risco;
- assumir ou aumentar o risco, a fim de buscar uma oportunidade;
- a remoção da fonte de risco;
- a alteração da probabilidade;
- a alteração das consequências;
- o compartilhamento do risco com outra parte ou partes (incluindo contratos e financiamento do risco); e
- a retenção do risco por uma escolha consciente.

Os tratamentos de riscos relativos às consequências negativas são muitas vezes referidos como "mitigação de riscos", "eliminação de riscos", "prevenção de riscos" e "redução de riscos" (NBR ISO 31000, 2009).

O tratamento de risco é chamado de determinação de controles. E cita que o estabelecimento, a implantação e manutenção na determinação dos controles ou mudanças nos controles existentes devem ser tomadas para a redução dos riscos de acordo com a seguinte hierarquia:

- “Eliminação;
- Substituição;
- Controles de engenharia;
- Sinalização/avisos ou controles administrativos
- Equipamentos de proteção individual” (OHSAS 18001 2007, p. 7)

## 2.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO (APR)

A metodologia de análise preliminar de risco (APR) é comumente chamada na literatura como APP, podendo ser encontrada também como análise preliminar de perigo modificada.

A APR é uma das ferramentas mais utilizadas na avaliação de riscos de tarefas de SST das empresas, de riscos ambientais e na elaboração do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA).

A NBR ISO 31010 (2009) cita como ponto forte a capacidade desta ferramenta ser aplicada, mesmo quando há pouca informação e de permitir que os riscos sejam considerados muito precocemente no ciclo de vida do sistema. Como limitação a norma cita que esta metodologia fornece somente informações preliminares, não sendo abrangente e nem fornecendo informações detalhadas sobre os riscos.

Conforme descrito em USP (2017) a APR é uma metodologia contínua e sistemática, envolvendo o reconhecimento dos perigos e dos desvios, e, principalmente, de valores aceitos pela população envolvida. Desta maneira, torna-se prioritário estabelecer um procedimento com as etapas, descritas a seguir:

- 1º Etapa: estabelecimento de uma equipe multidisciplinar.

A equipe multidisciplinar deve ser liderada por uma pessoa com habilidades e conhecimento sobre técnicas organizacionais, comunicação, competência, autoridade, credibilidade e capacitação (USP, 2017).

A USP (2017) sugere que a equipe envolvida seja constituída por pessoal de operação da unidade; engenheiro de processo; manutenção (elétrica, mecânica, instrumentação); logística, engenheiro de segurança e representante(s) do Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT).

- 2º Etapa: obtenção das informações necessárias.

Levantar e preparar a documentação necessária da situação atual do sistema em estudo, ou seja, conhecer de forma aprofundada os processos, as atividades, os componentes e equipamentos relacionados na operação, manutenção e limpeza a fim de identificar os perigos (USP, 2017).

Exemplificando algumas informações importantes para o entendimento do processo e conseqüentemente para a identificação dos perigos: fluxos de atividades e/ou processos (diagrama de blocos, fluxogramas de processo, procedimentos); implantações (layout, desenho de máquinas, plantas baixas, etc.); listas de matérias-primas, subprodutos, produtos, efluentes, emissões, resíduos e respectivas fichas de segurança; tarefas executadas com duração e frequência; pessoal envolvido (normal, ocasional, manutenção, próprio, terceiros); treinamentos necessários e recebidos; utilidades empregadas; forma física das substâncias utilizadas; requisitos de regulamentações e normas internas; controles e formulários em uso; planos de emergência existentes; monitoramento (contínuo; ocasional; pontual) e inspeções de segurança e de meio ambiente realizadas (USP, 2017).

- 3º Etapa: identificação dos perigos.

Identificar os perigos relacionados a área, processo e atividade estudada nas diferentes condições (normais, anormais, emergenciais, rotineiras e não rotineiras), registrando os perigos, suas causas, danos e recomendações na planilha apresentada na Figura 16.



Figura 16 - Exemplo de planilha para Análise preliminar de risco (APR)

Análise Preliminar de Riscos (APR)							
Área analisada:				Processo:			
Data da elaboração:				Data da revisão:			
Equipe:							
Atividade	Perigo	Dano	Causas	Avaliação de Risco			Recomendações
				Cons.	Prob.	Risco	

Legenda: Cons.: Consequência; Prob.: Probabilidade; Risco: Grau de Risco

Fonte: Adaptado de USP (2017).

- 4º Etapa: análise do risco.

A Análise de risco tem como objetivo estimar o risco, através do estabelecimento de uma probabilidade e consequência, levando em consideração os controles e meios existentes.

Com base na NBR ISO 31000 (2009), este trabalho adota os termos probabilidade e consequências para analisar o risco, uma vez que na literatura se encontra também frequência e gravidade/severidade, respectivamente.

Como não há um consenso das pontuações de probabilidade e consequências na literatura, portanto apresento as pontuações definidas e utilizadas na empresa objeto deste estudo.

A Figura 17 apresenta a pontuação da probabilidade de um evento (associado ao perigo da atividade de determinada área e processo) ocorrer, considerando os controles atuais existentes. Destaca-se que para a análise da probabilidade é considerado o período de 12 meses.

A empresa em estudo, considera como atividades rotineiras aquelas realizadas de forma habitual e não rotineiras as atividades não habituais e/ou com riscos variáveis e significativos, sendo está autorizada através da permissão de trabalho (PT).

Figura 17 - Pontuação de Probabilidade

Valor	Probabilidade	Conceito
1	Muito Baixa	Atividade não rotineira sem eventos ocorridos.
2	Baixa	Atividade rotineira sem eventos ocorridos.
3	Média	Atividade não rotineira com ocorrências.
4	Alta	Atividade rotineira com ocorrências.

Nota: para análise da probabilidade é considerado o período de 12 meses.

Fonte: Arquivo pessoal (2015).

A Figura 18 apresenta a pontuação da consequência de um evento (associado ao perigo da atividade de determinada área e processo) em termos da sua gravidade, já considerando os controles atuais existentes.

Figura 18 - Pontuação da Consequência

Valor	Consequência	Conceito
1	Ligeiramente Danoso	Espera-se que as consequências se enquadrem no grupo de pequenos cortes, irritação dos olhos, dor de cabeça, desconforto.
2	Danoso	Espera-se que as consequências se enquadrem no grupo de lacerações, queimaduras, fraturas simples, dermatoses, asma, lesões musculoesqueléticas.
3	Extremamente Danoso	Espera-se que as consequências se enquadrem no grupo de amputações, fraturas complicadas, intoxicações, lesões múltiplas, cancro, doenças crônicas e morte.

Fonte: Arquivo pessoal (2015).

O grau de risco é o resultado da combinação (soma) dos valores de probabilidade e de consequência, conforme Figura 19.

Figura 19 - Grau de Risco

Probabilidade	Consequência		
	1	2	3
1	2	3	4
2	3	4	5
3	4	5	6
4	5	6	7

Fonte: Arquivo pessoal (2015).

A análise de risco deve ser realizada através do preenchimento da Figura 16 com a probabilidade, consequências e grau de risco de cada perigo, mantendo assim um histórico e controle adequados.

- 5º Etapa: avaliação do risco.

A avaliação do risco consiste em avaliar a aceitabilidade do risco, ou seja, o grau de risco, obtido na Figura 19, que é definido através da Figura 20 se o risco é classificado de irrelevante a intolerável, se a atividade não requer medidas até se será paralisada, assim como as prioridades nas ações de melhoria para a eliminação ou controle adequado do risco.

Figura 20 - Definição sobre aceitabilidade do risco

Riscos	Medidas
<b>2 – Irrelevante</b>	Não requer medidas.
<b>3 – Trivial</b>	Não requer medidas específicas.
<b>4 – Aceitável</b>	Não é necessário melhorar a ação preventiva. No entanto, devem ser consideradas soluções mais rentáveis ou melhorias que não impliquem em altos investimentos.
	É necessário recorrer a verificações periódicas, de modo a assegurar que se mantém a eficácia das medidas de controle.
<b>5 – Moderado</b>	Devem fazer-se esforços para reduzir o risco e aplicar medidas mitigadoras num período determinado.
	Quando o risco estiver associado a consequências extremamente danosas, será necessária uma ação para estabelecer com mais precisão a probabilidade do dano e determinar a necessidade de melhorias de controle.
<b>6 – Importante</b>	O trabalho não deve ser iniciado até que se tenha reduzido o risco. Podem ser necessários recursos consideráveis para o controle do risco.
	Quando o risco corresponde a um trabalho que será realizado devem tomar-se medidas para contornar o problema, num período de tempo inferior ao dos riscos moderados.
<b>7 – Intolerável</b>	Não deve iniciar ou continuar o trabalho até que se tenha reduzido o risco.
	Mesmo quando seja necessária a utilização de recursos limitados, o trabalho deve ser interdito.

Fonte: Arquivo pessoal (2015).

Posteriormente a registrar na Figura 16 a análise de risco, deve-se revisar as recomendações levantadas na etapa de identificação de perigos. A coluna “recomendações” tem o objetivo de estabelecer as medidas mitigadoras de risco, ações de melhoria (proteção, controle e/ou prevenção e seus respectivos planos de ação), assim como analisar criticamente os planos de ação, considerando os

aspectos de tecnologia, de treinamento e competência e econômicos disponíveis (USP, 2017).

## 2.5 ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP)

O estudo de perigos e operabilidade é a tradução de “*Hazard and Operability Studies*” (HAZOP) que é uma metodologia estruturada e sistemática de um produto, processo, procedimento ou sistema existente ou planejado. É uma técnica para identificar os riscos para pessoas, equipamentos, ambiente e/ou objetivos das empresas (NBR ISO 31010, 2009).

Segundo a norma NBR ISO 31010 (2009) o HAZOP é uma técnica qualitativa baseada no uso de palavras-guia, as quais um grupo multidisciplinar questiona como a intenção do projeto ou as condições de operação podem não ser atingidas a cada etapa do projeto, processo, procedimento ou sistema.

A NBR ISO 31010 (2009) cita como ponto forte o fornecimento de meios para uma sistemática com análise total de um sistema, processo ou procedimento, gera soluções e ações de tratamento de riscos e permite a consideração explícita das causas e consequências de erro humano. Como limitação a norma cita, que uma análise detalhada pode ser muito demorada e conseqüentemente cara, que uma análise detalhada requer um alto nível de documentação ou especificação do sistema/processo e procedimento, e que pode focar em encontrar soluções detalhadas, ao invés de questionar premissas fundamentais.

A seguir definem-se alguns termos fundamentais para a aplicação do HAZOP:

- Intenção do projeto: desejo do projetista em atender o intervalo do comportamento especificado para os elementos e características (BS IEC 61882, 2001);
- Desvio: partida da intenção do projeto (BS IEC 61882, 2001);

- Palavra-guia: palavra que expressa e define um tipo específico de desvio de um elemento da intenção do projeto (BS IEC 61882, 2001);
- Causas: estas se constituem das razões porque ocorrem os desvios (USP, 2017);
- Consequências: são os resultados se ocorrerem os desvios (USP, 2017).

Com o objetivo de padronizar a aplicação da técnica HAZOP foi publicada a norma BS IEC 61882 (2001) cujo procedimento foi definido em 4 etapas, que serão apresentados a seguir.

- 1º Etapa: definições.

O estudo geralmente é iniciado pela definição dos responsáveis que no guia BS IEC 61882 (2001) começa definindo o responsável pelo projeto, chamado de gerente de projeto. O gerente do projeto deve nomear um líder do estudo, que juntos nomeam outras funções, como o secretário, projetista, usuário, especialistas e um representante da equipe de manutenção.

O guia BS IEC 61882 (2001) expõe que o estudo é um esforço de equipe, sendo que cada membro da equipe foi escolhido para um papel definido. A equipe deve ser tão pequena quanto possível de acordo com as habilidades técnicas e operacionais relevantes e experiência disponível. Isso geralmente envolve pelo menos quatro pessoas e raramente mais de sete.

De acordo com a BS IEC 61882 (2001) a definição do escopo depende de vários fatores, incluindo os limites físicos do sistema; o número e o nível de detalhe das representações de design disponíveis; o alcance de quaisquer estudos anteriores, seja HAZOP ou outras análises relevantes, realizadas no sistema; quaisquer requisitos regulamentares aplicáveis ao sistema.

Os objetivos do estudo, em geral, buscam identificar todos os perigos e problemas operacionais independentemente do tipo ou consequências. Concentrar este estudo estritamente na identificação de perigos permitirá que o estudo seja feito em um curto período de tempo e com o mínimo esforço (BS IEC 61882, 2001).

- 2º Etapa: preparação.

O líder do estudo é responsável pelos trabalhos preparatórios, como obter as informações necessárias, converter as informações em um formato adequado para todos os membros da equipe; realizar um plano de estudo e organizar as reuniões necessárias.

O plano de estudo é de responsabilidade do líder do estudo e deve conter o:

- objetivo e alcance do estudo;
- uma lista dos membros participantes;
- detalhes técnicos como a documentação de projeto dividida em partes e elementos com a intenção de projeto definida para cada elemento, uma lista de seus componentes, materiais, atividades e suas características;
- uma lista de palavras-guia sugeridas e suas interpretações;
- uma lista de referências apropriadas;
- disposições administrativas, como organizações das reuniões, incluindo data, hora e local;
- registro do estudo em planilha (BS IEC 61882, 2001).

A coleta de dados é de extrema importância para o estudo e deve incluir informações atualizadas para os:

- sistemas: requisitos e descrições de projeto, fluxogramas, diagramas de blocos, diagramas de controle, diagramas elétricos, folhas de dados de engenharia, layouts, especificações de utilidades, requisitos de operação e manutenção;
- fluxos de processo: diagramas de tubulação e instrumentação (P&ID), especificações de materiais e equipamentos, layout e sistema de encanamento;
- sistemas eletrônicos programáveis: diagramas de fluxo de dados, diagramas de projeto orientados a objetos, diagramas de estado de transição, diagramas de tempo e lógica (BS IEC 61882, 2001).

- 3º Etapa: análise.

O líder do estudo deve propor uma lista inicial de palavras-guias a serem usadas, estas devem ser testadas contra o sistema para confirmar sua adequação. A escolha das palavras-guia deve ser considerada com cuidado, como uma palavra guia que é muito específica pode limitar idéias e discussões, e uma que é muito geral, não pode focar o HAZOP de forma eficiente (BS IEC 61882, 2001). Alguns exemplos de diferentes tipos de desvio e as palavras-guia associadas são fornecidos na Figura 21.

Figura 21 - Exemplos de desvios, palavras-guias, definições e exemplos

Tipo de Desvio	Palavra-guia	Definições e exemplos
Negativo	Não	O objetivo não é alcançado Ex.: Ausência de fluxo
Modificação quantitativa	Mais	Aumento quantitativo Ex.: Alta temperatura
	Menos	Diminuição quantitativa Ex.: Baixo Nível
Modificação qualitativa	Bem como Também	Aumento/Modificação qualitativa Ex.: Material adicional
	Parte de	Diminuição/Modificação qualitativa Ex.: Parte dos componentes de uma mistura.
Substituição	Reverso	O oposto lógico da intenção Ex.: Retorno de fluxo
Tempo	Cedo	Algo ocorre mais cedo do que o desejado. Ex.: Aquecimento rápido
	Tarde	Algo ocorre mais tarde do que o desejado. Ex.: Aquecimento lento
Ordem ou sequência	Antes	Algo ocorre antes do que deveria. Ex.: Adição de um produto antes do previsto.
	Depois	Algo ocorre depois do que deveria. Ex.: Adição de um produto depois do previsto.

Fonte: Adaptado de BS IEC 61882 (2001); NBR ISO 31010 (2009).

Conforme a BS IEC 61882 (2001) as combinações de palavras-guias com os parâmetros do processo podem ser interpretadas de forma diferente em estudos de sistemas diferentes e em diferentes fases do sistema. Algumas das combinações podem não ter interpretações significativas para um determinado estudo e deve ser desconsiderado. A interpretação de todas as palavras-guias com seus parâmetros do processo devem ser definidas e documentadas.

A BS IEC 61882 (2001) sintetiza as etapas de análise de riscos em:

- Divisão do sistema em partes;
- Seleção de uma parte (nós) e definição do objetivo de projeto;
- Identificação do desvio usando palavras-guia em cada elemento;
- Identificação das causas e consequências;
- Identificação da existência de um problema significativo;
- Identificação de mecanismos de proteção, detecção e indicação;
- Identificação de possíveis medidas corretivas/mitigadoras (opcional);
- Definição de ações;
- Repetição para cada elemento e, em seguida, para cada parte do sistema.

A análise deve seguir as etapas descritas anteriormente, de forma a selecionar os nós mais relevantes das entradas até as saídas do sistema em uma sequência lógica. É importante que o processo de análise seja aplicado passo a passo para o sucesso do estudo. A Figura 22 apresenta um exemplo de planilha para Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP).

Figura 22 - Exemplo de planilha para Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)

Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)								
Área analisada:					Processo:			
Data da elaboração:					Data da revisão:			
Equipe:								
Nó	Parâmetro	Palavra-guia	Desvio	Causas	Cons.	Salvaguarda	Comentários	Recomendações

Legenda: Cons.: Consequência;  
Fonte: Adaptado de USP (2017).

De acordo com USP (2017) para a aplicação do HAZOP em processos contínuos, deve-se analisar os fluxogramas levando em consideração: equipamento por equipamento e, se necessário, linha por linha; para cada parâmetro de operação (temperatura, pressão, vazão, nível); ruptura ou perda de confinamento, normalmente são analisados à parte; pelos sucessivos desvios do parâmetro em consideração, usando as palavras-guia.

- 4º Etapa: Documentação.

A BS IEC 61882 (2001) sintetiza as etapas de documentação e acompanhamento em:



- Registre da análise de risco;
- Assinatura da documentação;
- Elaboração do relatório do estudo;
- Acompanhamento da implementação das ações;
- Re-estudo de alguma parte do sistema, se necessário;
- Elaboração do relatório final.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGIA

A fim de identificar os perigos, analisar e avaliar os riscos das atividades de operação, manutenção e limpeza das caixas de evaporação de uma usina do setor sucroenergético, o trabalho foi desenvolvido em basicamente 3 etapas entre os meses de Janeiro, Fevereiro e Abril de 2018.

- 1º Etapa: caracterização da empresa

A caracterização da empresa, objeto deste trabalho, ocorreu através do levantamento e análise de informações como procedimentos, instruções de trabalho, formulários, quantidade de espaços confinados, vasos de pressão, fluxogramas, plantas, P&ID e desenhos de equipamentos aplicados aos evaporadores.

- 2º Etapa: visita à empresa

A visita na empresa ocorreu em 7 de fevereiro de 2018 (período de entressafra) e no dia 18 de abril de 2018 (na safra) e constituiu no entendimento do processo de operação, manutenção e limpeza nas caixas de evaporação, assim como a realização de um registro fotográfico.

- 3º Etapa: avaliação de risco

As reuniões para a avaliação dos riscos ocorreram nos dias 14 e 15 de fevereiro e 18 de abril de 2018 e teve como objetivo aplicar as ferramentas de APR e HAZOP para identificar os perigos, analisar e a avaliar dos riscos nas caixas de evaporação.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido com base nos dados de uma Usina produtora de açúcar, etanol e energia na região de Ribeirão Preto, e com a finalidade de manter as informações sigilosas, optou-se por não divulgar o nome da usina (Figura 23).

Figura 23 - Vista aérea da usina em estudo



Fonte: Arquivo pessoal (2010).

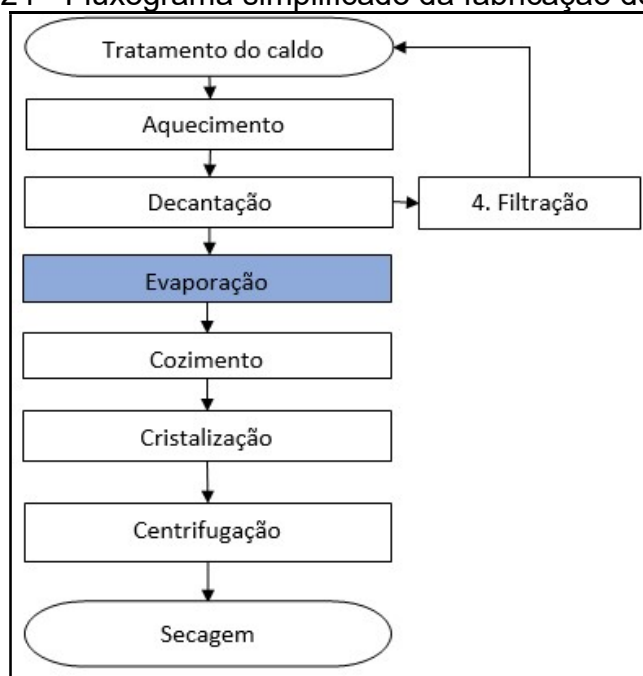
A usina em estudo foi construída na década de 20, passando por uma modernização a partir de 1963 e posteriormente por grandes investimentos de 2009 a 2012. Na safra de 2017 a usina moeu 2,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produziu 99 milhões de litros de etanol, 2,8 milhões de sacas de açúcar e 174 GWh de energia exportada, empregando em média 2.000 colaboradores diretos e 800 indiretos.

A área industrial da unidade em estudo compreende 240 vasos de pressão e 424 espaços confinados, sendo 158 na fábrica de açúcar e 14 no processo de evaporação, incluindo nove caixas de evaporação, uma coluna barométrica, três tanques de água condensada e um tanque de xarope.

### 3.2.1. Processo de evaporação do caldo

Na usina em estudo o processo de evaporação do caldo de cana-de-açúcar é considerado um dos processos da fabricação do açúcar, apenas para fins de gerenciamento, entretanto destaca-se que a evaporação também é necessária para a produção de etanol, variando apenas a concentração final do xarope (Brix). A Figura 24 ilustra a sequência de processos da fabricação de açúcar na usina em estudo.

Figura 24 - Fluxograma simplificado da fabricação de açúcar



Fonte: Arquivo pessoal (2017).

O caldo clarificado que sai do decantador, também pode ser chamado de caldo decantado, segue para os evaporadores (Figura 25), com o objetivo de eliminar o excesso de água do caldo até este se tornar um xarope, conforme parâmetros da Figura 26.

Figura 25 - Caixas de evaporação do caldo



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

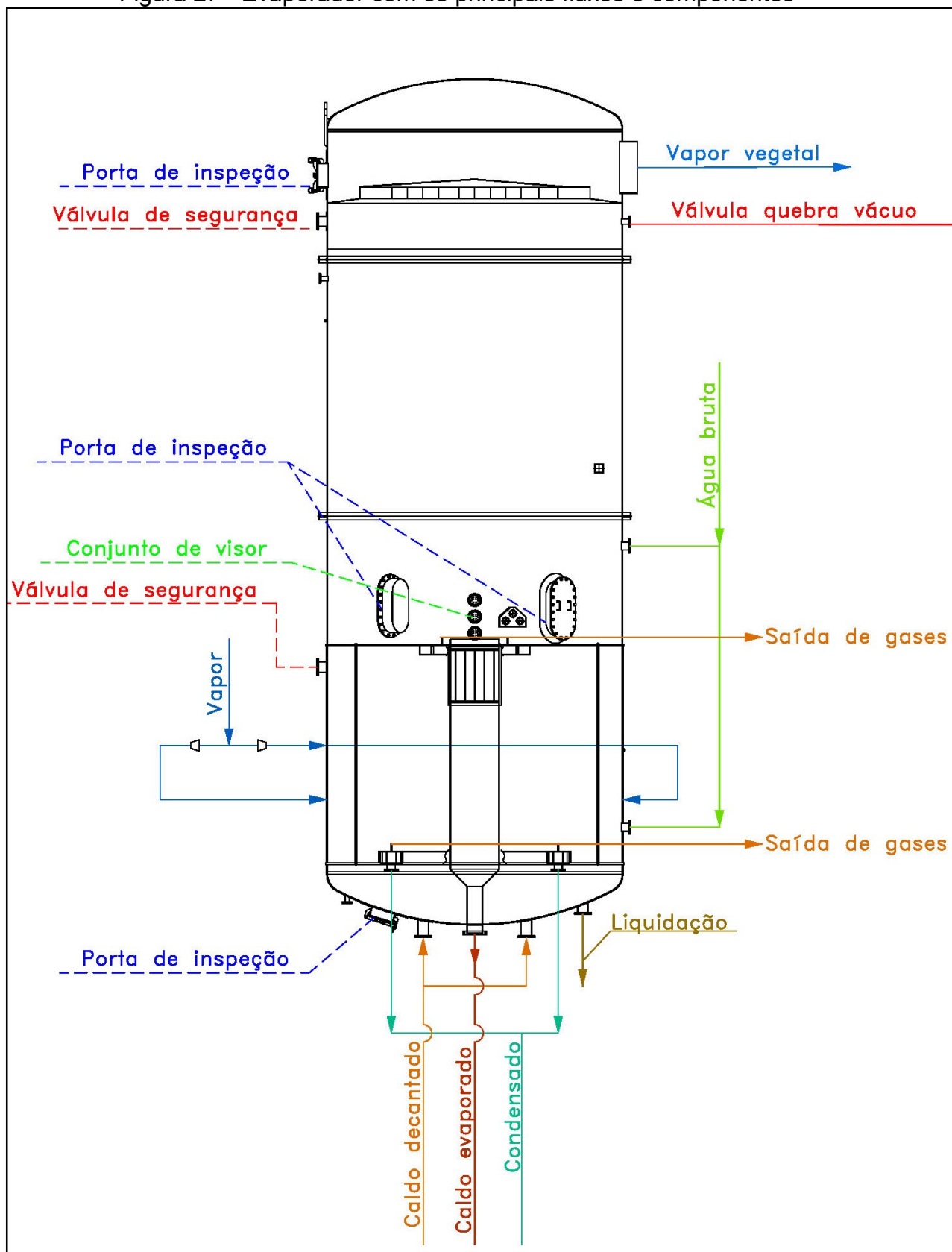
Figura 26 - Parâmetros de controle da evaporação

Item de controle	Unidade	Padrão
Caldo Decantado	Concentração (°Brix)	10 a 18
Xarope	Concentração (°Brix)	55 a 65
Nível de caldo na operação	Visual	Altura do espelho superior
Vapor de Escape	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,5 a 1,8
Vapor Vegetal	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,6 a 0,8
Evaporador de 3º efeito	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	0 a -0,30
Evaporador de 4º efeito	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	-0,34 a -0,41
Evaporador de 5º efeito	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	- 0,79 a -0,86

Fonte: Arquivo pessoal (2017).

Os evaporadores utilizados na usina em estudos são do modelo Robert do tipo calandra que operam como evaporadores de múltiplos efeitos, conforme descrito no item 2.1.1.1. A Figura 27 ilustra o evaporador da usina com suas principais entradas e saídas de caldo, vapor, xarope (caldo evaporado do último evaporador), condensados, água bruta e os principais acessos para limpeza e manutenção.

Figura 27 - Evaporador com os principais fluxos e componentes

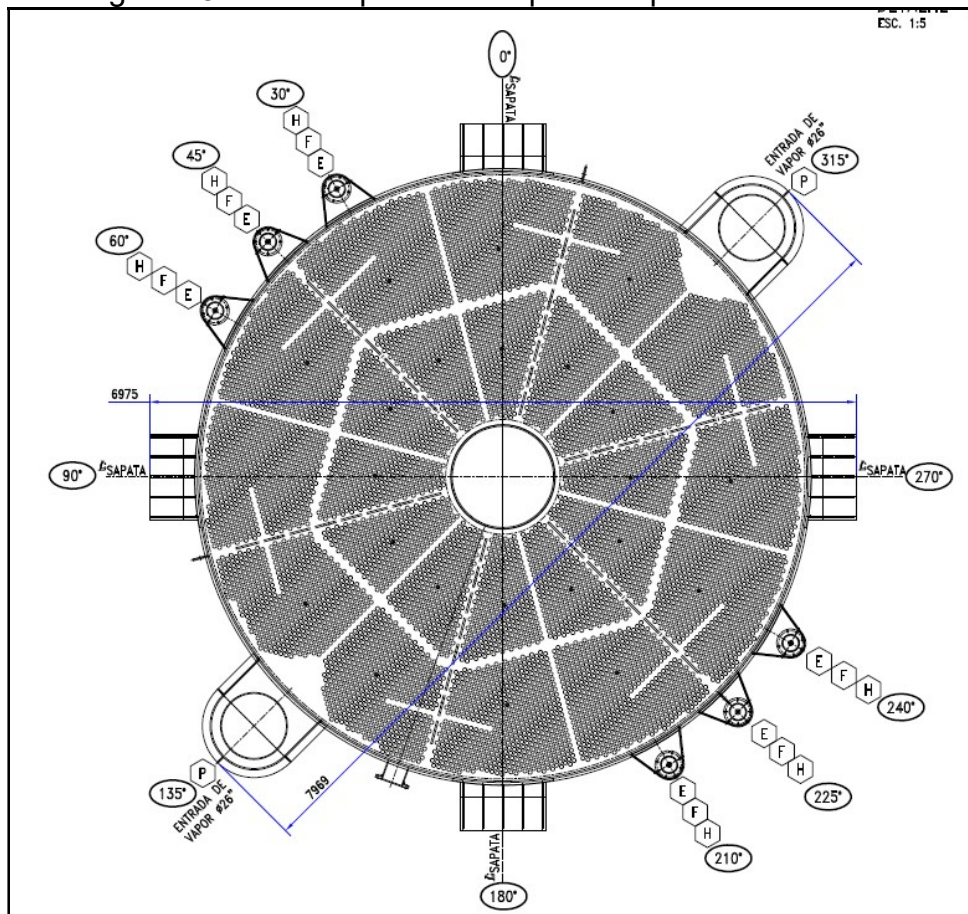


Fonte: Arquivo pessoal (2018).



A calandra é formada por tubos de aço carbono com “corredores” vazios para melhor circulação do vapor e consequentemente uma troca de calor com o caldo mais eficiente, conforme disposição da Figura 28.

Figura 28 - Vista superior do espelho superior da calandra



Legenda: E: saída de gases leves, F: saída de gases pesados, H: saída de gases calandra; P: entrada de vapor

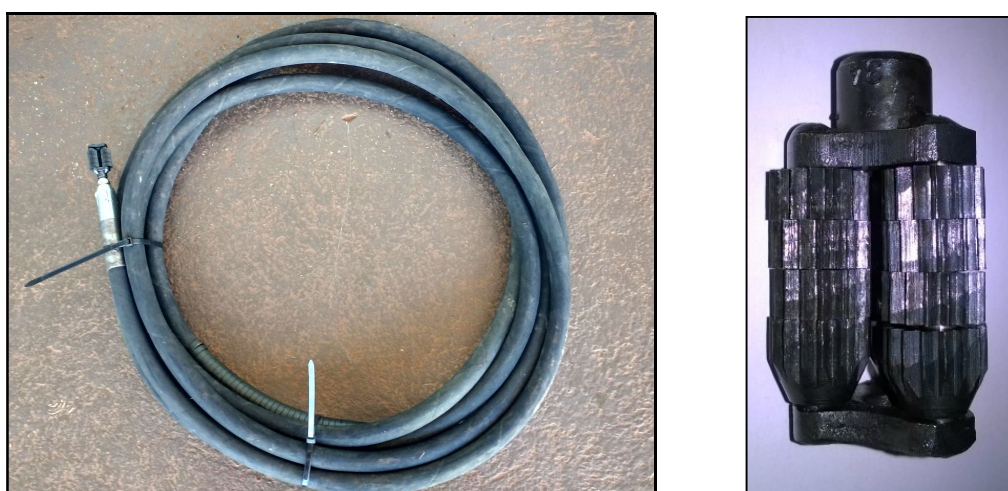
Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Atualmente a usina apresenta nove evaporadores ativos e em operação, sendo seis evaporadores de 4.500 m<sup>2</sup>, onde quatro deles podem operar como pré-evaporadores, um evaporador de 3.500 m<sup>2</sup> e mais dois evaporadores de 2.000 m<sup>2</sup>. Geralmente se opera com cinco efeitos, havendo, portanto, flexibilidade no direcionamento do fluxo da operação.

### 3.2.2 Limpeza nas caixas de evaporação

A limpeza das caixas evaporadores da usina em estudo é realizada por processo mecânico, cujo os raspadores são do tipo “chicote flexível”. Estes raspadores são constituídos por três conjuntos de roseta compatível com o diâmetro da tubulação da caixa, conforme Figura 29.

Figura 29 - Equipamentos para limpeza: Chicote e roseta



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Durante o período de safra, a limpeza dos evaporadores ocorre de segunda-feira a sábado, em dois turnos de trabalho, em caixas alternadas, ou seja, enquanto uma ou duas caixas estão paradas para limpeza as outras estão em funcionamento, não sendo assim necessário paradas no processo como um todo. Normalmente são limpas duas caixas por dia, onde o tempo de indisponibilidade de cada evaporador é de dez horas, incluindo o tempo de parada, resfriamento e limpeza.

A limpeza dos evaporadores é desenvolvida por uma empresa terceirizada, sendo necessário dez operadores e um líder, em cada turno, para limpar uma caixa com duração média de cinco horas. A alta quantidade de mão-de-obra para esta tarefa se justifica pelo fato de ser uma atividade pesada, repetitiva, desgastante e insalubre.

Segue o procedimento da limpeza da caixa de evaporação, adotando todos os passos de SST:



1. Fechar as válvulas de entrada do caldo e do vapor.
2. Abrir as bocas de visita das tubulações de entrada e saída de vapor, como forma de verificar que as válvulas, incluindo a válvula de segurança, estão funcionando.
3. Abrir válvula de alívio (quebra-vácuo) da caixa.
4. Liquidar o caldo da caixa e fechar a válvula de liquidação. Não há válvula de segurança, aumentado assim o risco de estourar a única válvula e retornar caldo para a caixa durante as atividades de limpeza e manutenção dos evaporadores.
5. Abrir válvula de água do corpo da caixa para resfria-la, deixando encher a caixa por completo (100%)
6. Liquidar toda a água para remover o material que possa estar retido na caixa.
7. Bloquear o sistema de acionamento das válvulas de entrada e saída de vapor, entrada e saída de caldo e liquidação da caixa, utilizando cadeados e etiquetas de bloqueio, conforme ilustrado pela Figura 30.

Figura 30 - Bloqueio das válvulas de entrada do vapor



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

8. Abrir as bocas de visita da caixa e instalar, em uma das bocas, o exaustor para um melhor resfriamento e diluição dos possíveis gases contidos no interior do equipamento, garantindo assim a circulação de  $O_2$  (Figura 31).

Figura 31 - Porta de inspeções dos evaporadores e exaustor.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

9. Colocar água até a altura do espelho superior.
10. Medir a concentração de  $O_2$ , Limite Inferior de explosividade (LIE), Monóxido de Carbono (CO) e Sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) utilizando o detector de gás.
11. Verificar os aspectos de SST do local de trabalho, como travamento das válvulas/equipamentos, ferramentas e acessórios necessários, treinamento em espaço confinado, conforme norma regulamentadora NR 33 (BRASIL, 2006), equipamento de proteção individual (EPI), aferição da pressão arterial dos operadores realizada no ambulatório da usina e preenchimento da Permissão de Trabalho (PT).
12. O supervisor de entrada do espaço confinado libera o início da limpeza posteriormente a realização e a verificação dos itens 10 e 11.
13. A limpeza nas caixas de evaporação consiste na entrada dos operadores dentro da caixa de evaporação, através da porta de inspeção para removerem as incrustações advindas do caldo de cana-de-açúcar.
14. Colocar raspadores mecânicos na caixa e ligar o raspador introduzido-o no tubo até o limite demarcado no chicote.
15. Retirar os raspadores mecânicos da caixa e avaliar limpeza.
16. Abrir válvula de dreno, liquidando a sujeira para a lagoa de sedimentação.
17. Lavar a caixa, utilizando mangueira com água fria para lavar parede da caixa e o espelho superior.

18. Abrir boca de inspeção do fundo da caixa.
19. Lavar o fundo da caixa, utilizando mangueira com água fria para remover toda sujeira depositada no fundo da caixa.
20. Realizar teste hidrostático para verificar os possíveis vazamentos nos tubos da calandra, seguindo as etapas a seguir:
  - a. Colocar água na calandra, abrindo válvula de entrada de água localizada na tubulação de entrada de vapor.
  - b. Após encher a calandra totalmente (verificar saída de água pela tubulação de degasagem), fechar válvula de entrada de água.
  - c. Um funcionário faz inspeção pela boca de visita do fundo da caixa (espelho inferior) e outro pela boca de vista do corpo (espelho superior). Ao identificar passagem de água da calandra para alguma tubulação, o funcionário que está no fundo da caixa ilumina a tubulação com auxílio de uma lanterna, indicando para o funcionário que está no corpo da caixa a tubulação que apresenta vazamento.
  - d. Identificar tubulação com vazamento nas duas extremidades, passar informação para o líder/coordenador. Colocar batoque (borracha) nas tubulações que apresentarem vazamento. Caso alguma tubulação necessitar de solda, avisar ao líder da caldeiraria e solicitar a abertura de notas.
21. Fechar boca de inspeção do fundo da caixa, bocas de visita do corpo e bocas de visita das tubulações de vapor.
22. Fechar válvula do dreno.
23. Comunicar ao responsável da área (líder do setor/coordenador do turno) sobre término da operação.
24. Aguardar autorização para manobras do conjunto da evaporação e início de operação da caixa.

### 3.3 AVALIAÇÃO DE RISCO

As reuniões para avaliação dos riscos nas caixas de evaporação do setor sucroenergético tiveram o objetivo de aplicar as metodologias de APR e do HAZOP, cujo o embasamento teórico estão apresentadas nos itens 2.4 e 2.5, respectivamente.

#### 3.3.1 Análise Preliminar de Riscos (APR)

Para elaborar a APR foi formada uma equipe composta pela autora, que coordenou os trabalhos, o supervisor da produção, o coordenador do processo, o técnico de segurança do trabalho e o líder da operação, que foram responsáveis por fornecer todas as informações disponíveis das instalações e equipamentos e por conhecerem a história não documentada, uma vez que o coordenador do processo é um colaborador com 35 anos de experiência na usina em estudo, contribuindo assim com as informações do dia-a-dia, problemas encontrados, variações sobre o processo e outras operações que por algum motivo não foram documentadas.

Após a definição da equipe de trabalho, realizou-se uma visita na área com o líder da operação com o objetivo de conhecer de forma mais aprofundada o processo de operação, manutenção e limpeza nas caixas de evaporação, assim como um reconhecimento dos componentes e equipamentos em campo para a identificação dos perigos.

Na sequência realizou-se uma reunião na qual foi apresentado o objetivo do trabalho, a metodologia da APR, as informações levantadas como instruções de trabalho e fluxogramas dos evaporadores, na qual foram analisadas pela equipe para a aplicação da metodologia e registro dos resultados na Figura 16.

As pontuações de probabilidade, consequências e grau de risco foram definidas pela empresa, objeto deste estudo, e mantidas neste trabalho uma vez que a equipe já

apresentava conhecimento nas pontuações e conceitos da APR da empresa. Adicionalmente manteve-se a mesma pontuação como o objetivo de comparar o resultado deste estudo com o realizado anteriormente pela empresa.

As pontuações de probabilidade, consequência, grau de risco e aceitabilidade do risco estão definidas nas Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20, respectivamente, apresentadas no item 2.4.

Destaca-se que para a análise da probabilidade é considerado o período de 12 meses e as definições de atividades rotineiras e não rotineiras, para a pontuação da consequência já é considerando os controles atuais existentes e para obter o grau de risco deve-se combinar (somar) dos valores de probabilidade e de consequência. A aceitabilidade classifica o risco de intolerável (7) a irrelevante (2) e define se a atividade necessita de medidas de controle e prioridades nas ações de melhoria.

### **3.3.2 Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP)**

Para elaborar o HAZOP foi formada uma equipe composta pela autora, que coordenou os trabalhos, o supervisor da produção, o coordenador do processo e o líder da operação, que foram responsáveis por fornecer todas as informações disponíveis das instalações e equipamentos e por conhecerem a história não documentada, uma vez que o coordenador do processo é um colaborador com 35 anos de experiência na usina em estudo, contribuindo assim com as informações do dia-a-dia, problemas encontrados, variações sobre o processo e outras operações que por algum motivo não foram documentadas.

Após a definição da equipe de trabalho, iniciou-se um levantamento e análise das informações necessárias como procedimentos, instruções de trabalho, formulários, fluxogramas, plantas, P&ID e desenhos dos equipamentos aplicados aos evaporadores.

Na sequência realizou-se uma visita na área com o líder da operação com o objetivo de conhecer de forma mais aprofundada o processo de operação, manutenção e limpeza nas caixas de evaporação, assim como um reconhecimento dos componentes e equipamentos em campo para a identificação dos perigos.

Durante a reunião foi apresentado o objetivo do trabalho, a metodologia HAZOP e as informações levantadas para a aplicação da técnica, sendo está aplicada separadamente para o processo de operação dos evaporadores e para os processos limpeza e manutenção dos evaporadores, ambas registradas em planilhas separadas para melhor controle (Figura 22).

A coordenadora do trabalho propôs a equipe do trabalho uma lista inicial de palavras-guias a serem usadas, assim como a divisão do sistema em partes levando em conta as principais intenções do projeto para o processo, limpeza e manutenção dos evaporadores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados da avaliação de riscos nas caixas de evaporação do setor sucroenergético, utilizando as metodologias de APR e do HAZOP.

### 4.1 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)

Na avaliação de risco através da metodologia da APR foram identificados 25 perigos, sendo 10 deles não incluídos na APR realizada previamente pela empresa em estudo, conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Perigos não identificados, previamente, na APR da empresa

Atividade	Perigo	Dano
Preparação do local para trabalhos em Espaço Confinado (EC)	Acesso de pessoas não autorizadas	Queimaduras Desmaios Morte
Verificação das válvulas para trabalhos em EC	Abertura das válvulas durante a atividade	Queimaduras Morte
Verificação das válvulas para trabalhos em EC	Desgaste e/ou ruptura das válvulas durante a atividade	Queimaduras Morte
Operação	Explosão do equipamento	Queimaduras Morte
Limpeza e/ou manutenção	Exposição a Temperatura	Stress Térmico Fadiga Queimaduras
Limpeza e/ou manutenção	Ausência ou enriquecimento de O <sub>2</sub>	Atordoação Desmaio Morte
Limpeza e/ou manutenção	Presenças de gases	Atordoação Desmaio Morte
Limpeza e/ou manutenção	Contato com superfícies quentes	Queimaduras
Limpeza	Acidentes com mangueiras e mangotes de alta pressão.	Lesões
Limpeza	Contato com substâncias químicas	Lesões na pele Queimaduras

Como resultado da avaliação de risco dos evaporadores, obteve-se o maior risco de grau 5 - Moderado com perigos de exposição ao ruído, material particulado em contato com os olhos, explosão do equipamento e acidentes de deslocamentos, detalhados na Figura 33.



Figura 33 - APR: Grau de risco 5 - Moderado

Atividade	Perigo	Dano	Causas	Avaliação de Risco			Recomendações
				Prob.	Cons.	Risco	
Todas as atividades relacionadas*	Exposição ao ruído	Perda gradual da audição Surdez Estresse psicológico	Falta de EPI's EPI inadequado Operação, limpeza e manutenção dos evaporadores	2	3	5	Uso de EPI's adequado PCA PPRA e PCMSO
Todas as atividades relacionadas*	Material particulado em contato com os olhos	Irritação Ferimento ocular Perda da visão	Falta EPI's, EPI inadequado	2	3	5	Uso de EPI's adequado
Operação	Explosão do equipamento	Queimaduras Morte	Excesso de pressão Falta de manutenção nas válvulas Falta de testes/calibração nas válvulas Falha na válvula de segurança	2	3	5	Monitorar a pressão no COI e em campo Manutenção e calibração nas válvulas de segurança e quebra vácuo
Trajeto residência/ empresa/residência	Acidentes de deslocamentos	Lesões Fraturas Morte	Colisão de veículo Atropelamento	2	3	5	EPC PCMSO

Legenda: \* Inclui a operação, limpeza e manutenção dos evaporadores

EPI - Equipamento de proteção Individual

EPC - Equipamento de proteção coletiva

PCA - Programa de conservação auditiva

PPRA - Programa de prevenção de riscos ambientais

PCMSO - Programa de controle médico e saúde ocupacional

COI: Centro de Operação Integrado

Prob.: Probabilidade = (1) Muito baixa (2) Baixa (3) Média (4) Alta

Cons.: Consequência = (1) Ligeiramente Danoso (2) Danoso (3) Extremamente Danoso

Risco: Grau de Risco = (2) Irrelevante (3) Trivial (4) Aceitável (5) Moderado (6) Importante (7) Intolerável

Por outro lado, a APR da empresa, realizada anteriormente a este estudo, identificava, apenas, a exposição ao ruído e acidentes de deslocamentos como o grau de risco 5 - Moderado. Esta diferença se deve ao fato de a explosão de equipamentos não ter sido considerada como um perigo, uma vez que a empresa entende que este perigo já é levado em conta nos seus controles atuais e o perigo do material particulado em contato com os olhos foi avaliado como grau de risco 7 - Aceitável, pois na consequência não foi incluída a possível causa de perda de visão, devido ao uso de controle atual, e consequentemente foi atribuída o valor igual a 2.

Conforme definido na Figura 20, para os riscos moderados (5) devem fazer-se esforços para reduzir o risco e aplicar medidas mitigadoras num período determinado, entretanto quando o risco estiver associado a consequências extremamente danosas será necessária uma ação para estabelecer com mais precisão a probabilidade do dano e determinar a necessidade de melhorias de controle.

A avaliação dos riscos constituída pela identificação dos perigos, análise e avaliação dos riscos está detalhada e consolidada no Apêndice - Resultados da Análise Preliminar de Riscos (APR), sendo esta composta pela atividade realizada, seus perigos, danos, causas, pontuações da probabilidade, consequências e grau de risco, assim como as recomendações, que tem o objetivo de mitigar os riscos e estabelecer ações de melhoria.

#### 4.2 ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP)

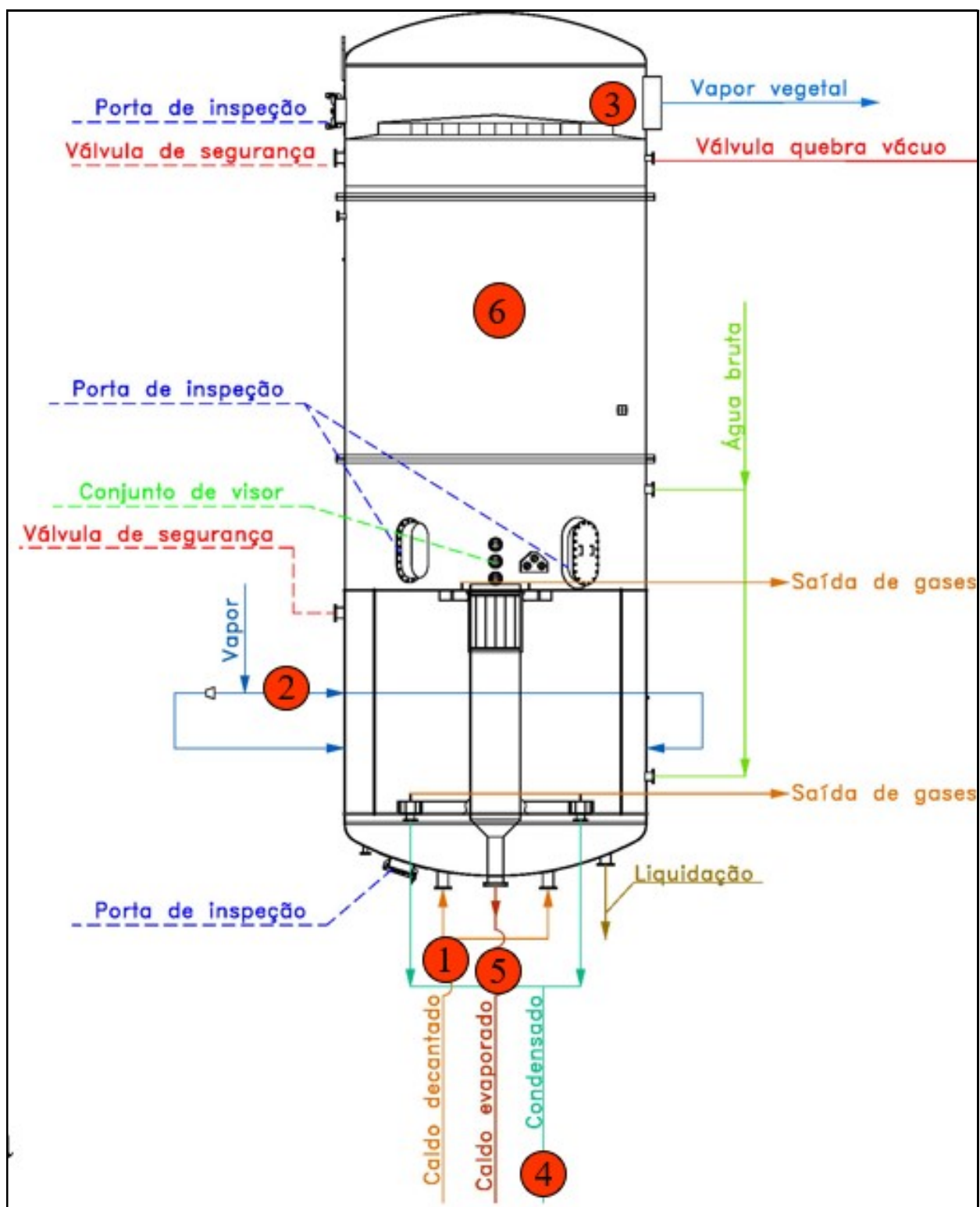
As palavras-guias definidas e testadas para o processo, manutenção e limpeza dos evaporadores são “Não”, “Mais”, “Menos” e “Reverso”.

A divisão do sistema em partes foi escolhida levando em conta as principais intenções do projeto para o processo, limpeza e manutenção nos evaporadores, definido por 6 nós que podem ser visualizados na Figura 34 e na Figura 35.

Figura 34 - Seleção das partes e intenções do projeto

Nó	Intenção do projeto
1	Entrada de caldo decantado (CD)
2	Entrada de vapor escape (VE)
3	Saída de vapor vegetal (VV1)
4	Saída de condensado (CND) do VE
5	Saída do Caldo Evaporado (CE)
6	Equipamento Evaporador

Figura 35 - Seleção das partes para o processo, manutenção e limpeza dos evaporadores



A aplicação da técnica do HAZOP para processo de operação dos evaporadores foi realizada para os nós de 1 a 5, obtendo 31 registrados de combinações de parâmetros e palavras-guias, sendo identificadas quatro combinações sem desvios, 17 desvios relacionados a falha de processo, sem prejuízo a SST e dez desvios relacionados a riscos em SST.

Dentre os dez desvios identificados podem-se destacar graves consequências como o rompimento de tubulações, válvulas, equipamento e explosão devido, principalmente, ao aumento da pressão do vapor de escape e/ou vegetal nos evaporadores, outra consequência, não identificada anteriormente na aplicação da APR, foi as altas vibrações, ruído e ruptura do equipamento em decorrência ao choque térmico que pode ocorrer como desvio da ausência de saída do condensado, conforme detalhado na Figura 36.

Figura 36 - Consequência do HAZOP não identificada na APR

Nó <sup>1</sup>	Desvio <sup>2</sup>	Causas	Consequências	Recomendações
4	Não há saída de condensado VE	Válvula Fechada Ausência de VE Ausência de CD Falha na bomba do tanque de CND Ruptura/entupimento da tubulação	Redução da eficiência do processo, pois os CND ocupam o espaço do VE Saída de CND na linha de degasagem Choque térmico entre o CND e VE Vibrações e ruído Ruptura do equipamento	Verificar: - válvula - vazão de VE - vazão de CD - bomba - tubulação

Legenda: <sup>1</sup> Nó 4: saída do condensado do Vapor Escape (VE)

<sup>2</sup> Desvio combina o parâmetro Vazão e palavra-Guia "Não"

A aplicação da técnica para a limpeza e manutenção nos evaporadores foi realizada apenas no nó 6, tendo em vista que para realizar as atividades não pode haver nenhum fluxo ou retorno de caldo decantado, vapor escape, vapor vegetal, caldo evaporado, xarope e/ou condensados. Obteve-se 12 registrados de combinações de parâmetros e palavras-guias, sendo identificadas duas sem desvios e dez desvios relacionados a riscos em SST. Dentro os dez desvios identificados, pode-se destacar graves consequências como stress térmico, fadiga, desmaios, queimaduras e morte.

A avaliação dos riscos constituída pela identificação dos perigos, análise e avaliação dos riscos está detalhada e consolidada no Apêndice - Resultados do Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP) para a operação dos evaporadores e Apêndice -

Resultados do Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP) para a Limpeza e manutenção dos evaporadores, sendo estas compostas pela parte em estudo (nó), parâmetro, palavra-guia, desvio, causas, consequências, salvaguarda, assim como as recomendações que tem o objetivo de mitigar os riscos e estabelecer ações de melhoria.

## 5 CONCLUSÕES

Os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados. Apesar da dificuldade inicial em levantar as informações e em mobilizar uma pequena equipe da empresa para a avaliação do risco, foram levantados os riscos presentes nas atividades de operação, limpeza e manutenção nas caixas de evaporação de uma usina do setor sucroenergético utilizando-se as duas ferramentas propostas, a APR e o HAZOP.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi possível sentir as diferenças entre as técnicas APR e HAZOP. A APR mostrou-se uma ferramenta ágil, em que não foram necessários dados muitos técnicos para o levantamento dos perigos, dos danos e suas possíveis causas, assim como uma ferramenta de fácil gerenciamento para SST, tendo em vista a hierarquização dos riscos.

Por outro lado, o HAZOP confirmou-se como uma ferramenta poderosa na análise em detalhe de processos específicos, identificando causas e consequências que não apareceram na APR, como os desvios que podem ocorrer na operação de processo e podem ser evitadas com pequenos controles no processo.

Adicionalmente sugere-se a busca pela melhoria continua, através das realizações de análises de riscos para outras atividades realizadas na empresa, já que as ferramentas se mostraram eficientes.

## REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R. **Tecnologia da fabricação do açúcar e do etanol**. Apresentação da disciplina Açúcar e Álcool (LAN1458) da Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz). Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2016. 40 slides. Disponível em: < [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4096216/mod\\_resource/content/1/LAN%201458%20parte%201.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4096216/mod_resource/content/1/LAN%201458%20parte%201.pdf)>. Acesso em: 05 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira: **NBR ISO 31000**. Gestão de riscos - Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009. 24 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 31010**. Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro, 2009. 101 p. Disponível em: <[http://iso31000.net/norma-iec-31010/](http://iso31000.net/norma-iso-iec-31010/)>. Acesso em: 25 de jan. 2018.

BNDES; CGEE. **Bioetanol de Cana-de-açúcar**: Energia para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <[http://www.cgEE.org.br/publicacoes/conferencia\\_bioetanol.php](http://www.cgEE.org.br/publicacoes/conferencia_bioetanol.php)>. Acesso em: 23 jan. 2018. Rio de Janeiro, 2008. 316 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n. 33**: Segurança e saúde nos trabalhos em espaço confinado, 2006. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR33.pdf> >. Acesso em: 09 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Previdência Social. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2016**. Seção I – Estatísticas de Acidentes do Trabalho. Subseção A – Acidentes do Trabalho. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-previdencia-social/>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2018.

\_\_\_\_\_. Previdência Social. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2015**. Seção I – Estatísticas de Acidentes do Trabalho. Subseção A – Acidentes do Trabalho. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-previdencia-social/>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2018.

\_\_\_\_\_. Previdência Social. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2014**. Seção I – Estatísticas de Acidentes do Trabalho. Subseção A – Acidentes do Trabalho. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-previdencia-social/>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2018.

\_\_\_\_\_. Previdência Social. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2012**. Seção I – Estatísticas de Acidentes do Trabalho. Subseção A – Acidentes do Trabalho. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-previdencia-social/>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2018.

BRITISH STANDARD; **BS IEC 61882**. Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide. Londres - Reino Unido, 2001. 61 p. Disponível em: < <http://www.ingenieroambiental.com/4002/BS%20IEC%2061882%202001%20HAZOP%20guide.pdf> >. Acesso em: 04 fev. 2018.

CASTRO, S.B; ANDRADE, S. A. **Engenharia e Tecnologia Açucareira**. Universidade Federal de Pernambuco: Departamento de Engenharia Química. 2006.

FOLHA DA REGIÃO. **Quatro funcionários morrem queimados**. Publicado em 17 de maio de 2002. Disponível em: <<http://www.folhadaregiao.com.br/2.633/quatro-funcion%C3%A1rios-morrem-queimados-em-destilaria-1.17407>>. Acesso em 10 de janeiro de 2018.

FERREIRA, N. C. **Limpeza de Evaporação**. Apresentação do Seminário 14º SBA da Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil (STAB). 2013. Disponível em: < [http://www.stab.org.br/seminario\\_14sba/12\\_raizen\\_31.pdf](http://www.stab.org.br/seminario_14sba/12_raizen_31.pdf) > Acesso em: 20 jan. 2017.

HUGOT, E. **Manual da Engenharia Açucareira**. Volume II. São Paulo: Editora Mestre Jou. 1977. 1143 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)**. Disponível em: <<http://cnae.ibge.gov.br>>. Acesso em: Novembro de 2017.

MUSETTI, M. M. et al. **Avaliação da viabilidade da alteração do método de limpeza de tanques de evaporação: um estudo de caso em uma usina sucroalcooleira**. XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção. Contribuições da engenharia de produção para melhores práticas de gestão e modernização do Brasil. João Pessoa-PB. 2016.

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ASSESSMENT SERIES. **OHSAS 18001**. Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional - Especificação. Tradução Isotec para Treinamentos, 2007. 13 p. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasghislaine/ohsas-18001.pdf>> Acesso em: 23 jan. 2018.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho: Um instrumento para uma melhoria contínua**. Turim:

Edição abril 2011. 27 p. (Relatório). Disponível em: < [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed\\_protect/protrav/safework/documents/publication/wcms\\_154878.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_protect/protrav/safework/documents/publication/wcms_154878.pdf) >. Acesso em: 23 jan. 2018.

SANTOS, L.J.C. **Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar**. Tese de doutorado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007. 227 p.



SEABRA, J.E.A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no brasil**. 274 p. Tese de Doutorado. Unicamp, FEM. Campinas, 2008.

SILVA, P. R. S. **Simulação dinâmica e otimização de evaporadores de múltiplos efeitos em biorrefinarias**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013. 141 p.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR (Unica). FAQ (Perguntas mais Freqüentes). 2018. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/faq/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **Gerência de Riscos**. Apostila para a disciplina do curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, eST-701 Gerência de Riscos. São Paulo: Epusp/PECE, 2017. 244 p.

ZONA DE RISCO. **Explosão em usina de álcool no interior de São Paulo**. Postado em 27 de maio de 2013. Disponível em: <<https://zonaderisco.blogspot.com.br/2013/05/explosao-em-usina-de-alcool-no-interior.html>>. Acesso em 10 de jan. de 2018.

**APÊNDICE - RESULTADOS DA ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR) PARA A OPERAÇÃO, LIMPEZA E MANUTENÇÃO NOS EVAPORADORES**

Análise Preliminar de Riscos (APR)							
Área analisada: Fábrica de Açúcar				Processo: Evaporadores			
Data da elaboração: 01/2018				Data da revisão:			
Equipe: supervisor da produção coordenador do processo líder da operação e coordenadora de sustentabilidade							
Atividade	Perigo	Dano	Causas	Avaliação de Risco			Recomendações
				Prob	Cons	Risco	
Todas as atividades relacionadas*	Exposição ao ruído	Perda gradual da audição Surdez Estresse psicológico	Falta de EPI's EPI inadequado Operação limpeza e manutenção dos evaporadores	2	3	5	Uso de EPI's adequado PCA PPRA e PCMSO
Todas as atividades relacionadas*	Exposição a condições de intempéries	Resfriados, gripes pneumonia Queimaduras Doenças de pele Insolação e desidratação	Falta de EPI Calor frio Chuva umidade Excesso ou falta de ventilação	2	2	4	Uso de EPI's adequado EPC PPRA e PCMSO
Todas as atividades relacionadas*	Trabalho noturno	Estresse físico e/ou psicológico	Problemas com o sono Alterações no metabolismo Falta de relações sociais Redução do tempo de convivência familiar	2	2	4	Estabelecer uma rotina de sono de 7 a 8 horas diárias Ginástica laboral
Todas as atividades relacionadas*	Queda de ferramentas materiais e equipamentos	Ferimentos	Falha de manuseio das ferramentas Ferramenta inadequada Falta EPI's	2	2	4	Treinamento Uso de EPI's adequado
Todas as atividades relacionadas*	Material particulado em contato com os olhos	Irritação, ferimento ocular Perda da visão	Falta EPI's EPI inadequado	2	3	5	Uso de EPI's adequado

Todas as atividades relacionadas*	Superfície escorregadia	Lesões por queda	Superfície molhada com água caldo e/ou outros produtos	2	2	4	Uso de EPI's adequado EPC
Preparação do local para trabalhos em Espaço Confinado (EC)	Acesso de pessoas não autorizadas	Queimaduras Desmaios Morte	Falta de sinalização Falta de treinamento	1	3	4	Identificar isolar e sinalizar o EC durante o preparo para o trabalho Treinamento em espaço confinado
Verificação das válvulas para trabalhos em EC	Abertura das válvulas durante a atividade	Queimaduras Morte	Falta de sinalização Falta de bloqueio Falha na comunicação Falta de treinamento	1	3	4	Sinalizar o bloqueio das válvulas durante a atividade com etiqueta de advertência Bloquear o sistema de acionamento das válvulas de vapor caldo condensados e liquidação utilizando cadeados Treinamento em espaço confinado
Verificação das válvulas para trabalhos em EC	Desgaste e/ou ruptura das válvulas durante a atividade	Queimaduras Morte	Falta de manutenção nas válvulas Falta de testes/certificados nas válvulas	1	3	4	Manutenção preventiva nas válvulas de vapor caldo e liquidação Instalar válvula de segurança para a saída de liquidação (2º válvula)
Operação	Explosão do equipamento	Queimaduras Morte	Excesso de pressão Falta de manutenção nas válvulas Falta de testes/calibração nas válvulas Falha na válvula de segurança	2	3	5	Monitorar a pressão no COI e em campo; Manutenção e calibração nas válvulas de segurança e quebra vácuo;

Limpeza e/ou manutenção	Ambiente confinado	Estresse psicológico	Pouco espaço Pouca luz Quente e úmido	1	2	3	Realizar aferição da pressão arterial antes de iniciar o trabalho Treinamento Uso de EPI's adequado Preencher a PT avaliando os riscos Realizar monitoramento de O <sub>2</sub> antes da entrada no local Manter vigia fora do espaço confinado durante toda a atividade Implantar sistema de resgate e primeiros socorros
Limpeza e/ou manutenção	Exigência de postura inadequada	Doenças ortopédicas	Atividade em postura inclinada/abaixada	1	2	3	Treinamento Ginástica laboral
Limpeza e/ou manutenção	Exposição a Temperatura	Stress Térmico Fadiga Queimaduras	Falta/Falha na lavagem do equipamento Falta/Falha na ventilação Falta EPI's Condição pessoal de saúde	1	2	3	Lavar o equipamento antes do início das atividades Ligar o exaustor em uma das bocas de visitação Uso de EPI's adequado Realizar aferição da pressão arterial antes de iniciar o trabalho Manter vigia fora do espaço confinado durante toda a atividade
Limpeza e/ou manutenção	Ausência ou enriquecimento de O <sub>2</sub>	Atordoação Desmaio Morte	Falta/falha na lavagem do equipamento Falta/falha na ventilação Falta de avaliação com detector de gases Falta/falha na aplicação da PT Falta de EPI's EPI's inadequados	1	3	4	Lavar o equipamento antes do início das atividades Ligar o exaustor em uma das bocas de visitação Treinamento em espaço confinado Preencher a PT avaliando os riscos Realizar monitoramento de O <sub>2</sub> antes da entrada no local Manter vigia fora do espaço confinado durante toda a atividade Implantar sistema de resgate e primeiros socorros Uso de EPI's adequado

Limpeza e/ou manutenção	Presenças de gases	Atordoação Desmaio Morte	Falta/Falha na lavagem do equipamento Falta/Falha na ventilação Falta de avaliação com detector de gases Falta/falha na aplicação da PT Falta de EPI's Qualidade da água de lavagem EPI's inadequados	1	3	4	Lavar o equipamento antes do início das atividades Ligar o exaustor em uma das bocas de visitação Treinamento em espaço confinado Preencher a PT avaliando os riscos Realizar monitoramento de O <sub>2</sub> antes da entrada no local Manter vigia fora do espaço confinado durante toda a atividade Implantar sistema de resgate e primeiros socorros Uso de EPI's adequado
Limpeza e/ou manutenção	Contato com superfícies quentes	Queimaduras	Falta/Falha na lavagem do equipamento Falta/Falha na ventilação Falta EPI's	1	2	3	Lavar o equipamento antes do início das atividades Ligar o exaustor em uma das bocas de visitação Uso de EPI's adequado
Limpeza e/ou manutenção	Manuseio de materiais cortantes e/ou perfurantes	Ferimentos	Falha de manuseio Falta EPI's EPI's inadequados	1	2	3	Treinamento Uso de EPI's adequado
Limpeza e/ou manutenção	Tensão elétrica (alta média ou baixa)	Choque elétrico Queimadura Comprometimento neural Parada cardíaca	Falta de treinamento Falta EPI's EPI inadequado Falta de sinalização	1	2	3	Treinamento Uso de EPI's adequados e EPC Retirada de fusíveis ou correias de transmissão Sinalização da área e equipamento
Limpeza	Monotonia e Repetitividade	Estresse físico e/ou psicológico	Repetitividade dos movimentos	1	2	3	Treinamento Ginástica laboral
Limpeza	Acidentes com mangueiras e mangotes de alta pressão	Lesões	Falta de treinamento Falta atenção Falta de EPI's e EPI inadequado	1	2	3	Treinamento Uso de EPI's adequados Utilizar mangueira no interior do Tubo Jet (dispositivo de segurança) durante a limpeza com hidrojateamento

Limpeza	Contato com água	Resfriados, gripes Pneumonia Infecções na pele por agentes biológicos	Roupas úmidas/molhadas	1	2	3	EPI Retirar a roupa molhada assim que finalizar a limpeza PPRA e PCMSO
Limpeza	Contato com substâncias químicas	Lesões na pele Queimaduras	Falta de limpeza Falta de EPI	1	2	3	Lavar o equipamento antes do início das atividades Uso de EPI's adequado
Manuseio e dosagem de produtos químicos	Contato com substâncias químicas	Lesões na pele Queimaduras	Vazamentos Reposição Dosagem Limpeza	1	2	3	EPI's adequados Treinamento PPRA e PCMSO
Operação de máquinas rotativas	Máquinas/equipamentos sem proteção	Lesões	Falta das partes móveis	1	2	3	EPC
Trajetória residência/ empresa/residência	Acidentes de deslocamentos	Lesões Fraturas e Morte	Colisão de veículo Atropelamento	2	3	5	EPC PCMSO
<b>Legenda:</b>  * Inclui a operação, limpeza e manutenção dos evaporadores Prob: Probabilidade = (1) Muito baixa (2) Baixa (3) Média (4) Alta Cons : Consequência = (1) Ligeiramente Danoso (2) Danoso (3) Extremamente Danoso Risco: Grau de Risco = (2) Irrelevante (3) Trivial (4) Aceitável (5) Moderado (6) Importante (7) Intolerável				EPI - Equipamento de proteção Individual EPC - Equipamento de proteção coletiva PT - Permissão de Trabalho PCA - Programa de conservação auditiva PPRA - Programa de prevenção de riscos ambientais PCMSO - Programa de controle médico e saúde ocupacional COL: Centro de Operação Integrado			

## APÊNDICE - RESULTADOS DO ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP) PARA A OPERAÇÃO DOS EVAPORADORES

Estudos de Perigos e Operabilidade (HAZOP)								
Área analisada: Fábrica de Açúcar				Processo: Operação dos evaporadores				
Data da elaboração: 01/2018				Data da revisão:				
Equipe: supervisor da produção, coordenador do processo, líder da operação e coordenadora de sustentabilidade								
Nó	Parâmetro	Palavra-Guia	Desvio	Causas	Consequências	Salvaguarda	Comentários	Recomendações
1	Vazão	Não	Não há caldo decantado (CD)	Tanque de CD Vazio Falha na Bomba Válvula Fechada Ruptura/entupimento da tubulação	Ausência de processo Aumento na pressão do Vapor escape (VE) Rompimento da tubulação e/ou equipamento	Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 1,9 Kgf/cm2 no COI		Verificar o nível no tanque de CD através do supervisório Verificar Bomba Verificar Válvula Verificar tubulação
1	Vazão	Mais	Excesso de CD	Falha na medição de vazão Falha na atuação da válvula de controle	Perdas por arraste Contaminação do VV1 Aumento na pressão de VE Diminuição da pressão VV1 Elevação de nível da caixa Rompimento da tubulação e/ou equipamento	Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 1,9 Kgf/cm2 no COI		Verificar válvulas Verificar medidor de vazão

1	Vazão	Menos	Pouco CD	Falha na bomba Baixa capacidade da bomba Válvula parcialmente aberta Vazamento/entupimento da tubulação	Incrustações nos tubos da calandra Aumento na pressão de VE Diminuição da pressão VV1 Rompimento da tubulação e/ou equipamento	Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 1,9 Kgf/cm <sup>2</sup> no COI		Verificar bomba Manutenção preventiva nas bombas Verificar válvula Verificar tubulação
1	Vazão	Reverso	Retorno do CD	Sem desvio		Válvula de retenção não permite o retorno do CD		
1	Concentração	Mais	°Brix acima de 19	Baixa vazão de CD Alta pressão de VE	Aumento das incrustações nas tubulações da calandra nos últimos evaporadores		Falha de processo, sem prejuízo na SST	
1	Concentração	Menos	°Brix menor de 10	Baixa qualidade da cana Falha no tratamento de caldo Excesso de embebição na moenda	Baixa eficiência do processo		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Controlar o tratamento de caldo Verificar entradas de água no processo
2	Vazão	Não	Não há entrada de VE	Válvulas Fechadas Ausência de VE Ruptura/entupimento na linha de VE	Ausência de processo Desarmamento das caldeiras devido ao retorno da pressão do VE	Válvula de alívio na linha de VE	Falha de processo, sem prejuízo na SST	Verificar válvulas Verificar linha de VE
2	Vazão	Mais	Excesso VE	Aumento na capacidade da cogeração Aumento na pressão da linha de VE	Baixa eficiência Aumento da pressão Ruptura da Válvula Explosão	Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 1,9 Kgf/cm <sup>2</sup> no COI		Verificar válvulas Manutenção preventiva das válvulas Calibração das válvulas Controlar a



								PMTA através do painel de instrumentos
2	Vazão	Menos	Pouco VE	Válvulas VE semifechadas Baixa capacidade Pouca pressão de VE	Baixa eficiência no processo Baixa concentração de Brix	Aviso sonoro quando a pressão estiver abaixo 1,4 Kgf/cm2 no COI	Falha de processo, sem prejuízo na SST	Verificar válvula Manutenção preventiva das válvulas Calibração das válvulas
2	Vazão	Reverso	Saída de vapor	Sem desvio				
2	Pressão	Mais	Pressão excessiva	Falha na linha de VE Falha na cogeração	Aumento da pressão da linha Ruptura da linha Explosão	Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 1,9 Kgf/cm2 no COI		Controle de pressão VE Manutenção preventiva nas linhas Inspeções periódicas na espessura da linha
2	Pressão	Menos	Pouca pressão	Falha na linha de VE	Baixa eficiência no processo		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Verificar válvula Controlar o nível do CD
3	Vazão	Não	Não há saída de VV1	Válvulas do VV1 fechadas Falta de CD	Aumento da pressão de VV1 Ruptura das válvulas Explosão	Válvula de segurança Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 0,9 Kgf/cm2 no COI		Verificar válvulas Manutenção preventiva das válvulas Calibração das válvulas Verificar nível de CD Controlar a PMTA através do painel de instrumentos

3	Vazão	Mais	Excesso de VV1	Excesso de VE Baixo consumo de VV1 nos processos	Alta pressão de VE Aumento da pressão de VV1 Ruptura das válvulas Explosão	Válvula de segurança Válvula de alívio na linha de VE Aviso sonoro quando a pressão atingir 0,9 Kgf/cm2 no COI		Verificar válvulas Manutenção preventiva das válvulas Calibração das válvulas Controlar a PMTA através do painel de instrumentos
3	Vazão	Menos	Pouco VV1	Válvulas VV1 semifechada Excesso de CD Pouco VE	Baixa eficiência no processo Baixa concentração de Brix	Aviso sonoro quando a pressão estiver abaixo 0,6 Kgf/cm2 no COI	Falha de processo, sem prejuízo na SST	Verificar válvula Manutenção preventiva das válvulas Calibração das válvulas
3	Vazão	Reverso	Entrada VV1	Falha nas válvulas	Aumento da pressão Ruptura das válvulas equipamento Explosão	Válvula de segurança Válvula de quebra vácuo Aviso sonoro quando a pressão atingir 0,9 Kgf/cm2 no COI		Verificar Válvula Manutenção preventiva das válvulas Calibração das válvulas
3	Pressão	Mais	Pressão excessiva	Excesso de VE	Aumento da pressão Ruptura da Válvula Explosão	Válvula de segurança Válvula de quebra vácuo Aviso sonoro quando a pressão atingir 0,9 Kgf/cm2 no COI		Manutenção preventiva das válvulas Controle de pressão VE no COI
3	Pressão	Menos	Pouca pressão	Nível de CD fora do recomendável	Baixa eficiência no processo		Falha de processo, sem prejuízo na	Verificar válvula Controlar o nível do CD

							SST	
4	Vazão	Não	Não há saída de condensado VE	Válvula Fechada Ausência de VE Ausência de CD Falha na bomba do tanque de CND Ruptura/entupimento da tubulação	Redução da eficiência do processo pois os CND ocupam o espaço do VE Saída de CND na linha de degasagem Choque térmico entre o CND e VE Vibrações e ruído Ruptura do equipamento			Verificar Válvula Verificar vazão de VE Verificar vazão de CD Verificar Bomba Verificar tubulação
4	Vazão	Mais	Excesso de condensados de VE	Sem desvio	Evaporação eficiente Alto consumo de VE			
4	Vazão	Menos	Pouco condensados de VE	Regulagem na válvula de degasagem Vazamento do CND para CD Falha nas válvulas Nível de CD fora do recomendável	Baixa eficiência Deficiência na troca de calor		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Verificar regulagem da válvula de degasagem Teste hidrostático para verificar as tubulações da calandra Verificação das válvulas Verificar o nível do tanque de CD
4	Vazão	Reverso	Entrada de condensados	Falha na bomba Falha nas válvulas de controle	Saída de CND na degasagem Deficiência na troca de calor Baixa eficiência no processo		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Manutenção preventiva na Bomba Manutenção preventiva nas válvulas de controle

4	Concentração	Não	Sem presença de açúcar	Sem desvio	Enviar condensado para alimentação das caldeiras			
4	Concentração	Mais	Alta presença de açúcar	Alto nível do CD Vazamento do CD na tubulação da calandra	Arraste do CD para VV1(contaminação) Desvio automático do CND para evitar a contaminação nas caldeiras		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Controlar nível de CD Teste hidrostático para verificar as tubulações da calandra
4	Concentração	Menos	Baixa presença de açúcar	Alto nível do CD Vazamento do CD na tubulação da calandra	Arraste do CD para VV1(contaminação) Desvio automático do CND para evitar a contaminação nas caldeiras		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Controlar nível de CD Teste hidrostático para verificar as tubulações da calandra
5	Vazão	Não	Não há saída de Caldo Evaporado (CE)	Válvula Fechada Falta de CD Ruptura/entupimento da tubulação	Ausência de processo		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Verificar Válvula Verificar Bomba de CD Verificar tubulações
5	Vazão	Mais	Excesso de CE	Falha na medição de vazão do CD Falha na atuação da válvula de controle do CD	Perdas por arraste Contaminação do Vapor Vegetal		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Manutenção preventiva nas válvulas
5	Vazão	Menos	Pouco CE	Válvula parcialmente fechada Baixa capacidade da bomba de CD Falha na bomba de CE Vazamento/entupimento da tubulação	Aumento das incrustações nas tubulações da calandra		Falha de processo, sem prejuízo na SST	Manutenção preventiva na bomba de CD Verificar o nível de CD no supervisório e no conjunto de visor



## APÊNDICE - RESULTADOS DO ESTUDO DE PERIGOS E OPERABILIDADE (HAZOP) PARA A LIMPEZA E MANUTENÇÃO DOS EVAPORADORES

Estudos de Perigos e Operabilidade (HAZOP)							
Área analisada: Fábrica de Açúcar				Processo: Limpeza e manutenção dos evaporadores			
Data da elaboração: 01/2018				Data da revisão:			
Equipe: Supervisor da produção, coordenador do processo, líder da operação e coordenadora de sustentabilidade							
Nº	Parâmetro	Palavra-Guia	Desvio	Causas	Consequências	Salvaguarda	Recomendações
6	Vazão	Não	Sem desvio				
6	Vazão	Mais	Excesso de CD, VE, VV1, CE, Xarope ou condensados	Falha no fechamento das válvulas Falta de manutenção nas válvulas Falta desbloqueios Falha na comunicação	Queimaduras Morte	Válvulas de segurança Válvula de quebra vácuo	Verificar bomba Verificar válvulas Manutenção preventiva nas válvulas Usar etiquetas de advertência de bloqueio Usar cadeados para bloqueio
6	Vazão	Menos	Pouco de CD, VE, VV1, CE, Xarope ou condensados	Falha no fechamento das válvulas Falta de manutenção nas válvulas Falta desbloqueios Falha na comunicação	Queimaduras Morte	Válvulas de segurança Válvula de quebra vácuo	Verificar bomba Verificar válvulas Manutenção preventiva nas válvulas Usar etiquetas de advertência de bloqueio Usar cadeados para bloqueio
6	Vazão	Reverso	Retorno do VV1, CE, Xarope, condensados, liquidação	Falha no fechamento das válvulas Falta de manutenção nas válvulas Falta de válvula de segurança Falha na comunicação	Queimaduras Morte	Válvula de segurança, exceto para a liquidação Válvula de quebra vácuo	Verificar bomba Verificar válvulas Manutenção preventiva nas válvulas Instalar válvula de segurança para a liquidação Usar etiquetas de advertência de bloqueio Usar cadeados para bloqueio
6	Pressão	Não	Sem desvio				

6	Pressão	Mais	Excesso Pressão	Falha na abertura das válvulas de segurança e quebra vácuo Falta de manutenção e calibração nas válvulas	Ruptura da válvula Explosão Queimaduras Morte	Válvulas de segurança Válvula de quebra vácuo	Verificar bomba Verificar válvulas Manutenção preventiva nas válvulas Usar etiquetas de advertência de bloqueio Usar cadeados para bloqueio
6	Pressão	Menos	Pouca Pressão	Falha na abertura das válvulas de segurança e quebra vácuo Falta de manutenção e calibração nas válvulas	Ruptura da válvula Explosão Queimaduras Morte	Válvulas de segurança Válvula de quebra vácuo	Verificar bomba Verificar válvulas Manutenção preventiva nas válvulas Usar etiquetas de advertência de bloqueio Usar cadeados para bloqueio
6	Pressão	Reverso	Retorno Pressão	Falha no fechamento das válvulas Falta de manutenção e calibração nas válvulas Falha na comunicação	Queimaduras Morte	Válvula de segurança, exceto para a liquidação Válvula de quebra vácuo	Verificar bomba Verificar válvulas Manutenção preventiva nas válvulas Instalar válvula de segurança para a liquidação Usar etiquetas de advertência de bloqueio Usar cadeados para bloqueio
6	Temperatura	Mais	Excesso de T	Falta/Falha na lavagem do equipamento Falta/Falha na ventilação Falta EPI's Condição pessoal de saúde	Stress Térmico Fadiga Queimaduras		Lavar o equipamento antes do início das atividades Ligar o exaustor em uma das bocas de visitação Uso de EPI's adequado Realizar aferição da pressão arterial antes de iniciar o trabalho Manter vigia fora do espaço confinado durante toda a atividade
6	Temperatura	Menos	Pouca T	Excesso na ventilação Falta EPI's Condição pessoal de saúde	Calafrios Hipotermia		Desligar o exaustor de uma das bocas de visitação Uso de EPI's adequado Realizar aferição da pressão arterial antes de iniciar o trabalho Manter vigia fora do espaço

