

**MARCO TÚLIO REZENDE MEROLA GOMES**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM UMA PLANTA DE  
COGERAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2018

**MARCO TÚLIO REZENDE MEROLA GOMES**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM UMA PLANTA DE COGERAÇÃO  
DO SETOR SUCROALCOOLEIRO**

**Trabalho de conclusão de curso** apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Mecânica.**

Área de concentração: Manutenção Industrial

Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes

UBERLÂNDIA - MG

2018

**MARCO TÚLIO REZENDE MEROLA GOMES**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM UMA PLANTA DE  
COGERAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho de conclusão de curso **APROVADO**  
pela Faculdade de Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Manutenção Industrial

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes – FEMEC – UFU – Orientador

---

Prof. Dr. Valério Luiz Borges – FEMEC – UFU – Membro

---

Eng<sup>a</sup> Msc. Carolina Lau Lins Beicker – Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em  
Eng. Mecânica da UFU – FEMEC – UFU – Membro

**UBERLÂNDIA - MG**

**2018**

## DEDICATÓRIA

A meus pais Reginaldo Merola  
Gomes e Cláudia Pacheco Alves  
Resende Gomes.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, por me dar a oportunidade de vir ao mundo com excelentes pais, por me abençoar e me proteger em minhas escolhas, nunca me deixando desamparado nos momentos de dificuldades e por me permitir fazer uma graduação.

Aos meus pais Reginaldo Merola e Cláudia Pacheco por todo o amor, confiança, apoio, por nunca me deixarem desistir de meus sonhos, por sempre terem investido em minha educação e acreditarem em meu sucesso.

Aos meus avós, tios, primos, padrinhos e madrinhas, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, com muito amor e carinho.

À minha namorada Bianca por todo o amor, carinho, apoio e paciência durante esse período.

Agradeço também ao meu orientador, professor Arthur Heleno Pontes Antunes, que aceitou esse desafio, me permitindo realizar este trabalho e acreditando em meu potencial, me possibilitando sempre aprimorar meus conhecimentos.

Aos meus colegas e amigos do curso de Engenharia Mecânica, por todas as dificuldades enfrentadas juntos e todo o companheirismo durante a graduação. Merecem destaque: Hugo Marra, Luiz Felipe Guardieiro, Antônio Carlos Jr, Luis Felipe Martins, Bruno Guilherme, Lucas Caratta, Lucas Solé, José Renato, Fernando Almeida e todos da 91<sup>a</sup> e 93<sup>a</sup> turmas de Engenharia Mecânica.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Mecânica pela oportunidade de realizar este curso e a todos os professores, que de alguma forma puderam contribuir para a minha formação. Minha sincera gratidão.

GOMES, M. T. R. M. **Gestão da Manutenção em uma Planta de Cogeração do Setor Sucroalcooleiro**. 2018, 75f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

## RESUMO

Plantas de cogeração do setor sucroalcooleiro a partir da biomassa estão muito presentes no Brasil, principalmente devido ao fato de que a cana-de-açúcar é a melhor alternativa para a produção de biocombustíveis e que o país exerce liderança na produção canavieira. Entretanto, para cumprirem bem o seu papel, os equipamentos dessas usinas trabalham em condições severas de temperatura e pressão, além de estarem em contato com muitas impurezas, o que torna necessário então um plano de manutenção eficiente para que a produção não seja danificada ou comprometida. Sendo assim, com a finalidade de melhorar a disponibilidade das máquinas e reduzir o custo devido a falhas nos mesmos, o objetivo do presente trabalho consiste na elaboração de planos de manutenção para equipamentos, especificamente máquinas térmicas e máquinas de fluxo, de uma usina sucroalcooleira, essa situada no centro-oeste brasileiro. Para tanto, inicialmente foi realizada uma breve revisão do ciclo termodinâmico de cogeração existente, com o intuito de identificar as condições de operação dos equipamentos em cada um dos inúmeros processos. Posteriormente, por meio do histórico de manutenção da usina, foram realizadas análises de falhas em equipamentos que causavam paradas na produção da usina. Identificados os problemas, suas causas foram definidas, medidas e analisadas para que por fim, os planos de manutenção fossem construídos. Após os processos de elaboração e de prática dos planos tornou-se possível estimar o período de tempo de uma possível parada futura da usina e, além disso, comprovou-se que esse período de tempo era inferior ao tempo médio relatado no histórico da usina. Contudo, a metodologia proposta mostrou-se capaz de melhorar a produtividade e a disponibilidade dos equipamentos analisados.

---

*Palavras Chave: Setor sucroalcooleiro. Análises de falhas. Planos de manutenção. Usina.*

GOMES, M. T. R. M. **Maintenance management in an ethanol cogeneration plant.** 2018, 75f. Monograph, Federal University of Uberlandia, Uberlandia-MG.

### ABSTRACT

Ethanol plants of cogeneration from biomass are predominant in Brazil, given that sugar cane is the best alternative for biofuel and the country is a leader in sugar cane production. However, during operation these plants are put under severe conditions of high temperatures and pressure, in addition to being exposed to many air impurities. Given these conditions, it is important to create an efficient maintenance plan so that production is not compromised. Having that said, with the purpose of increasing equipment availability and reduce cost due to maintenance issues, this work is focused on elaborating equipment maintenance plants, specially for thermal and flux machines of an ethanol plant located in the center-west of Brazil. Initially the existing thermodynamic cycle of the cogeneration was revised in order to identify the equipment condition in each of the phases. After that, past maintenance issues where production was completely stopped due to equipment failure were analyzed and studied. Once the problems were accounted for, their causes were indentified and analyzed so that a maintenance plan could be created. After an elaborated plan was created, it became possible to estimate the duration of a hypothetical future pause in production, and to further confirm that it was shorter than the average previous pauses in the plant's records. At the end, the methodology and plan created showed to be efficient in increasing the plant's productivity and the availability of its machinery.

---

*Keywords: Ethanol plant. Failure analysis. Maintenance plan. Power plant.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- (a) Diferença entre os ciclos de Rankine ideal e real; (b) Efeito das irreversibilidades na bomba e na turbina (adaptado de ÇENGEL; BOLES, 2007).....	20
Figura 2.2 - Partes da cana-de-açúcar (adaptado de RODRIGUES, 2015).....	21
Figura 2.3 - Diferenças entre cana comum e cana-energia (adaptado de GRANBIO, 2017b) .....	22
Figura 2.4 - Fluxograma simplificado do processo de produção de etanol 1G.....	23
Figura 3.1 - Etapas da metodologia proposta.....	30
Figura 3.2 – Fluxograma simplificado dos processos de produção de etanol e cogeração de energia..	33
Figura 3.3 - RPA preenchido formalmente pelo PCM.....	35
Figura 3.4 - Diagrama de Ishikawa usado nas análises de falhas.....	36
Figura 3.5 - Bomba centrífuga radial EQUIPE EQP.....	39
Figura 3.6 - Bomba bipartida axialmente KSB RDL .....	40
Figura 3.7 - Bomba de vácuo NASH linha Vectra GL .....	41
Figura 3.8 - Redutor planetário SEW série XP .....	42
Figura 3.9 - Redutor de engrenagens cônicas compacto SEW série MC.....	44
Figura 3.10 - Redutor helicoidal robusto SEW série X.....	45
Figura 4.1 - Diagrama de Ishikawa para a bomba centrífuga EQP.....	47
Figura 4.2 - Diagrama de Ishikawa para a bomba KSB RDL.....	50
Figura 4.3 - Diagrama de Ishikawa para a bomba de vácuo .....	52
Figura 4.4 - Diagrama de Ishikawa para o redutor planetário.....	55
Figura 4.5 - Diagrama de Ishikawa para o redutor de engrenagens cônicas.....	57
Figura 4.6 - Diagrama de Ishikawa para o redutor helicoidal .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Método GUT usado nas análises de falhas.....	36
Tabela 3.2 - Técnica dos cinco por quês usada nas análises de falhas .....	36
Tabela 3.3 - Plano de ação 5W2H usado nas análises de falhas .....	37
Tabela 3.4 - Equipamentos críticos analisados .....	38
Tabela 4.1 - Método GUT usado para a bomba centrífuga EQP.....	48
Tabela 4.2 - Técnica dos cinco por quês usada para a bomba centrífuga EQP.....	48
Tabela 4.3 - Plano de ação 5W2H para a bomba centrífuga EQP.....	49
Tabela 4.4 - Método GUT usado para a bomba KSB RDL .....	50
Tabela 4.5 - Técnica dos cinco por quês para a bomba KSB RDL .....	51
Tabela 4.6 - Plano de ação 5W2H para a bomba KSB RDL.....	51
Tabela 4.7 - Método GUT aplicado para a bomba de vácuo.....	53
Tabela 4.8 - Técnica dos cinco por quês aplicado para a bomba de vácuo .....	53
Tabela 4.9 - Plano de ação 5W2H para a bomba de vácuo .....	54
Tabela 4.10 - Método GUT aplicado para o redutor planetário .....	55
Tabela 4.11 - Técnica dos cinco por quês aplicada para o redutor planetário.....	56
Tabela 4.12 - Plano de ação 5W2H para o redutor planetário.....	56
Tabela 4.13 - Método GUT aplicado para o redutor de engrenagens cônicas .....	58
Tabela 4.14 - Técnica dos cinco por quês aplicada para o redutor de engrenagens cônicas .....	58
Tabela 4.15 - Plano de ação 5W2H para o redutor de engrenagens cônicas.....	59
Tabela 4.16 - Método GUT aplicado para o redutor helicoidal .....	60
Tabela 4.17 - Técnica dos cinco por quês aplicada ao redutor helicoidal .....	61
Tabela 4.18 - Plano de ação 5W2H para o redutor helicoidal .....	61
Tabela 4.19 - Plano de manutenção para a bomba EQP .....	64
Tabela 4.20 - Plano de manutenção para bomba KSB RDL .....	65
Tabela 4.21 - Plano de manutenção para a bomba de vácuo.....	66
Tabela 4.22 - Plano de manutenção para o redutor planetário .....	67
Tabela 4.23 - Plano de manutenção para o redutor de engrenagens cônicas.....	68
Tabela 4.24 - Plano de manutenção para o redutor helicoidal .....	69

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\eta$	Eficiência térmica do ciclo de Rankine
$\eta_B$	Eficiência isentrópica da bomba
$\eta_T$	Eficiência isentrópica da turbina
$h_1$	Entalpia no ponto 1 (entrada da bomba ou saída do condensador)
$h_2$	Entalpia no ponto 2 (saída da bomba ou entrada da caldeira)
$h_{2r}$	Entalpia na saída da bomba (para o ciclo real)
$h_{2s}$	Entalpia na saída da bomba (para o ciclo ideal)
$h_3$	Entalpia no ponto 3 (entrada da turbina ou saída da caldeira)
$h_4$	Entalpia no ponto 4 (saída da turbina ou entrada do condensador)
$h_{4r}$	Entalpia na saída da turbina (para o ciclo real)
$h_{4s}$	Entalpia na saída da turbina (para o ciclo ideal)
$h_e$	Energia total que entra no sistema por unidade de massa
$h_s$	Energia total que sai do sistema por unidade de massa
$q_e$	Taxa de transferência de calor que entra no sistema por unidade de massa
$q_s$	Taxa de transferência de calor que sai no sistema por unidade de massa
$w_{bomba,e}$	Trabalho específico realizado sobre a bomba
$w_e$	Trabalho específico na entrada
$w_{liq}$	Trabalho líquido específico
$w_{rB}$	Trabalho específico real realizado sobre a bomba
$w_{rT}$	Trabalho específico real realizado pela turbina
$w_s$	Trabalho específico na saída
$w_{sB}$	Trabalho específico isentrópico realizado sobre a bomba
$w_{sT}$	Trabalho específico isentrópico realizado pela turbina

wturb,s

Trabalho específico realizado pela turbina

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	14
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>CAPÍTULO II</b> .....	17
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>2.1. O ciclo de potência</b> .....	17
<b>2.2. A cana-de-açúcar</b> .....	20
<b>2.3. A produção de etanol de primeira geração (1G)</b> .....	22
<b>2.4. A cogeração de energia na indústria da cana-de-açúcar</b> .....	23
<b>2.5. Os tipos de manutenção</b> .....	24
2.5.1. <i>Manutenção corretiva</i> .....	25
2.5.2. <i>Manutenção preventiva</i> .....	25
2.5.3. <i>Manutenção preditiva</i> .....	25
2.5.4. <i>Manutenção detectiva</i> .....	26
2.5.5. <i>Engenharia de manutenção</i> .....	26
<b>CAPÍTULO III</b> .....	27
<b>METODOLOGIA</b> .....	27
<b>3.1. Etapas da metodologia proposta</b> .....	27
<b>3.2. Análise prévia</b> .....	30
<b>3.3. Equipamentos analisados</b> .....	37
3.3.1. <i>Bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP</i> .....	38
3.3.2. <i>Bomba centrífuga bipartida axialmente – KSB RDL</i> .....	39
3.3.3. <i>Bomba de vácuo – NASH – Linha Vectra GL</i> .....	40
3.3.4. <i>Redutor planetário – SEW série XP</i> .....	41
3.3.5. <i>Redutor de engrenagens cônicas compacto – SEW série MC</i> .....	43
3.3.6. <i>Redutor helicoidal robusto – SEW série X</i> .....	44
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	46
<b>ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	46
<b>4.1. Análises de falhas dos equipamentos</b> .....	46
4.1.1. <i>Análise de falhas da bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP</i> .....	46
4.1.2. <i>Análise de falhas da bomba centrífuga bipartida axialmente – KSB RDL</i> .....	49
4.1.3. <i>Análise de falhas da bomba de vácuo – NASH – Linha Vectra GL</i> .....	52

4.1.4.	<i>Análise de falhas do redutor planetário – SEW série XP</i>	54
4.1.5.	<i>Análise de falhas do redutor de engrenagens cônicas compacto – SEW série MC</i>	57
4.1.6.	<i>Análise de falhas do redutor helicoidal robusto – SEW série X</i>	59
<b>4.2.</b>	<b>Planos de manutenção preventiva</b>	<b>62</b>
4.2.1.	<i>Plano de manutenção para bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP</i>	63
4.2.2.	<i>Plano de manutenção para bomba centrífuga bipartida axialmente – KSB RDL</i>	64
4.2.3.	<i>Plano de manutenção para bomba de vácuo – NASH – Linha Vectra GL</i>	65
4.2.4.	<i>Plano de manutenção para redutor planetário – SEW série XP</i>	66
4.2.5.	<i>Plano de manutenção para redutor de engrenagens cônicas compacto – SEW série MC</i>	67
4.2.6.	<i>Plano de manutenção para redutor de eixos helicoidal robusto – SEW série X</i>	68
<b>CAPÍTULO V</b>		<b>70</b>
<b>CONCLUSÕES</b>		<b>70</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>		<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>		<b>72</b>

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

A biomassa é usada como fonte de energia desde antes do aparecimento do homo sapiens. Estudos arqueológicos indicam que o fogo era usado por hominídeos há mais de 1 milhão de anos. Entretanto, essa fonte deve ter sido usada regularmente entre 350.000 e 320.000 anos atrás (SHIMELMITZ et al, 2014).

No Brasil, o bagaço da cana-de-açúcar é a principal biomassa empregada para a geração de energia elétrica devido, principalmente, a forte presença de usinas produtoras de etanol e açúcar no cenário nacional. Em 1975, o Programa Nacional de Álcool (Proálcool) foi o grande responsável por consolidar e ampliar o desenvolvimento da indústria sucroenergética nacional, a qual se tornou referência mundial. O principal objetivo do Proálcool foi produzir um combustível alternativo no país, pois os choques do petróleo na década de 1970 causaram um considerável aumento do preço deste produto e de seus derivados, o que gerou impactos para a economia (EPE, 2015).

Sendo assim, com a iniciativa do Proálcool e com maiores incentivos federais a partir do ano 2000 para a produção de bioeletricidade, principalmente através do PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – e da Lei nº 10.848 de março de 2004, esse crescimento foi acentuado. Por esta regulamentação as distribuidoras poderiam contratar energia a uma menor tarifa, garantir o suprimento elétrico e, assim, fomentar a adoção de um mercado competitivo. Já o objetivo do PROINFA foi de aumentar a participação da energia elétrica baseada em fontes como a eólica, a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). Tal avanço pôde ser evidenciado em

2014, quando a energia elétrica gerada com bagaço de cana, lixo e lenha somou 44,7 TWh de energia, isto é, 8% da geração elétrica nacional. Dentre essas três fontes, a principal foi o bagaço, com 32,3 TWh, seguida da lixo com 10,5 TWh, tendo por último a lenha com 1,9 TWh naquele ano. Através desses números é possível perceber que a bioeletricidade tem sido relevante na oferta de energia elétrica brasileira, embora esta ainda seja amplamente dominada pela fonte hidráulica. (EPE, 2015).

No Brasil, a bioeletricidade é obtida principalmente por cogeração, isto é, a geração combinada de energia elétrica e de energia térmica, ambas sendo posteriormente utilizadas, e essa última destinada principalmente para a produção de etanol.

O etanol possui uma vasta aplicação no cotidiano, seja como componente de diversas bebidas, seja como conservante, antisséptico, solvente industrial, em desinfetantes domésticos e hospitalares, em solventes de fármacos importantes ou também como combustível na indústria automobilística. É produzido a partir da fermentação dos açúcares contidos na cana, sendo necessário diferenciar o etanol hidratado do anidro.

O etanol hidratado é uma mistura hidroalcoólica com teor alcoólico mínimo de 92,6° (INPM) Instituto Nacional de Pesos e Medidas, usado como combustível para veículos, sendo aquele vendido em postos de combustíveis. Já o etanol anidro é caracterizado pelo teor alcoólico mínimo de 99,3° (INPM), usado na gasolina tipo C, e é obtido através da desidratação do hidratado. (CHIEPPE JÚNIOR, 2012)

Entretanto, para produzir o etanol, como o anidro ou o hidratado, são necessárias diversas máquinas trabalhando a altas temperaturas e pressões, além de estarem em contato constante com líquidos severos, de elevada acidez ou aqueles que possuem impurezas. Essas condições de trabalho causam diversas falhas nesses equipamentos, o que leva a problemas relativamente simples – como a quebra de determinado componente, o que pode possibilitar o conserto no próprio local onde está instalado, ou de forma a ser necessária a remoção do mesmo até outro espaço, mas sem que isso prejudique a produção – até a parada não só da máquina como também de todo o processo produtivo, dependendo da gravidade da falha ou da função desse equipamento na produção.

Portanto, os equipamentos precisam de manutenção. Quando estes reparos não são feitos de forma planejada e correta, ocasionam em paradas do processo, as quais podem ser programadas ou inesperadas, isto é, manutenção corretiva planejada ou manutenção corretiva não planejada. Dentro dessas possibilidades, a equipe de manutenção deve fazer o possível para

que não ocorram as paradas inesperadas, pois essas requerem um maior tempo para serem sanadas em comparação à corretiva planejada, acarretando um maior custo para a empresa.

Para que esses equipamentos possam atender a produção e ter um bom funcionamento sem que haja paradas inesperadas e, conseqüentemente, a paralização de todo o processo produtivo, uma das estratégias adotadas pelas usinas nas quais estão instalados é a elaboração de planos de manutenção para os mesmos.

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo elaborar planos de manutenção para os equipamentos (especificamente máquinas térmicas e máquinas de fluxo) de uma planta do setor sucroalcooleiro, que opera desde 2011, situada na cidade de Costa Rica, no estado do Mato Grosso do Sul, região centro-oeste do Brasil.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1. O ciclo de potência**

O princípio de conservação de energia, ou primeira lei da termodinâmica, conceitua acerca do fato de que a energia não pode ser criada ou destruída, somente muda sua forma. Sendo assim, durante um processo, toda energia deve ser levada em consideração (ÇENGEL; BOLES, 2007). A fim de proferir a expressão da conservação de energia, tem-se que “A variação líquida (aumento ou diminuição) da energia total do sistema durante um processo é igual à diferença entre a energia total que entra e a energia total que sai do sistema durante esse processo”.

A usina sucroalcooleira em questão se baseia nos processos termodinâmicos presentes no Ciclo de Rankine, o qual utiliza o vapor d’água com elevada entalpia para produzir potência. Nesse ciclo, a água ao entrar na bomba como um líquido saturado é comprimida até a pressão da caldeira. Logo, a água sai da caldeira como um vapor superaquecido. O gerador de vapor, conhecido como caldeira, é responsável pela troca de calor no qual, aquele originário dos gases de combustão, transfere-se para a água em estado líquido até que ela evapore. Ao entrar em uma turbina, o vapor superaquecido é expandido, o que permite que a rotação do eixo da turbina produza trabalho. Uma mistura de vapor e líquido saturado é formada enquanto passa pela

turbina, uma vez que enquanto isso o vapor perde pressão e temperatura. Esse produto entra no condensador e faz com que o vapor se condense. Então a água deixa o condensador como líquido saturado e entra na bomba, dando continuidade ao ciclo.

Os quatro processos que compõem o ciclo de Rankine podem ser analisados como processos com escoamento em regime permanente, são eles a bomba, a caldeira, a turbina e o condensador. As variações de energia cinética e potencial do vapor podem ser desprezadas. Dessa forma, a equação de energia aplicada a um dispositivo com escoamento em regime permanente, por unidade de massa de vapor, se reduz a

$$(q_e - q_s) + (w_e - w_s) = h_s - h_e \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.1)$$

A caldeira e o condensador não envolvem nenhum trabalho, ao passo que a bomba e a turbina podem ser consideradas como isentrópicas. Assim, para cada dispositivo tem-se:

$$\text{Bomba } (q=0) \quad w_{bomba, e} = h_2 - h_1 \quad (2.2)$$

$$\text{Caldeira } (w=0) \quad q_e = h_3 - h_2 \quad (2.3)$$

$$\text{Turbina } (q=0) \quad w_{turb, s} = h_3 - h_4 \quad (2.4)$$

$$\text{Condensador } (w=0) \quad q_s = h_4 - h_1 \quad (2.5)$$

A eficiência térmica do ciclo de Rankine pode ser determinada por:

$$\eta = \frac{w_{liq}}{q_e} \quad (2.6)$$

Onde

$$w_{liq} = q_e - q_s = w_{turb, s} - w_{bomba, e} \quad (2.7)$$

No entanto, os ciclos de potência a vapor reais diferem um pouco do ciclo de Rankine ideal por conta de algumas irreversibilidades do sistema. O atrito do fluido e a perda de calor são duas fontes de irreversibilidades. Elas tornam o ciclo real de potência a vapor diferente do ciclo de Rankine ideal.

No condensador e tubulações ocorre a queda de pressão devido ao atrito do fluido, assim como ocorre na caldeira. É graças a isso que na saída dela a pressão é menor do que na sua entrada, assim como acontece entre a saída da caldeira e a entrada da turbina graças também à perda de pressão que ocorre no período em que o vapor passa pela tubulação que liga a primeira à segunda.

Conforme escoar através dos equipamentos o vapor vai perdendo calor. De tal maneira, é preciso transferir mais calor para o vapor da caldeira a fim de que o nível de potência líquida produzida seja mantido. Esse processo ocasiona na diminuição da eficiência do ciclo. (ÇENGEL; BOLES, 2007)

Analisar as irreversibilidades que ocorrem no interior da turbina ou da bomba é fundamental, ainda de acordo com ÇENGEL e BOLES (2007), pois não é possível que esses equipamentos, na prática, operem com 100% de eficiência, embora teoricamente sejam ambos isentrópicos. Dessa forma, as eficiências isentrópicas de bombas e turbinas são calculadas pelas equações:

$$\eta_B = \frac{ws_B}{wr_B} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2r} - h_1} \quad (2.8)$$

E

$$\eta_T = \frac{ws_T}{wr_T} = \frac{h_3 - h_{4r}}{h_3 - h_{4s}} \quad (2.9)$$

Onde os estados 2r e 4r são, respectivamente, os de saída reais da bomba e da turbina, ao passo que os estados 2s e 4s são os de saída para caso isentrópico, representados na Fig. 2.1 a seguir.

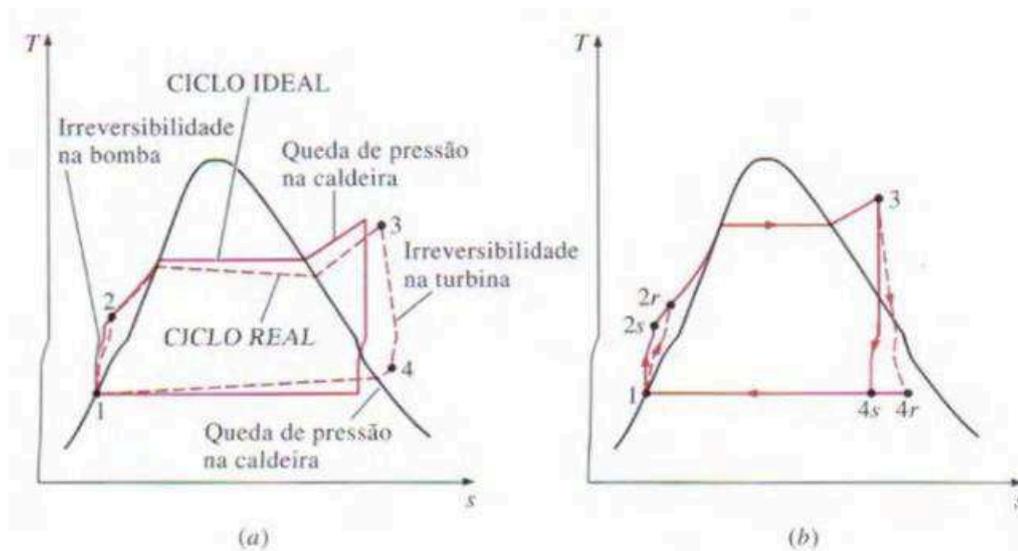


Figura 2.1- (a) Diferença entre os ciclos de Rankine ideal e real; (b) Efeito das irreversibilidades na bomba e na turbina (adaptado de ÇENGEL; BOLES, 2007)

## 2.2. A cana-de-açúcar

A cana de açúcar tem origem das angiospermas e veio para o Brasil pelos portugueses no período da colonização. Entre suas características morfológicas possui raiz fasciculada, flores monóclinas e sua altura pode chegar a 140 centímetros de comprimento (SILVA, 2015).

Dentre as utilidades da cana tem-se a alimentação animal e matéria prima para diversos produtos como o açúcar e o etanol. A produção de energia através da cana tem sido muito visada nos últimos anos, por ser uma opção viável e rentável. Quando separados, caldo e cana possuem propriedades muito úteis para as empresas, como o caldo pode ser usado na produção de açúcar e etanol e o bagaço na geração de calor e eletricidade (OGATA, 2013). Na Fig. 2.2 a seguir podem ser observadas as partes da planta.

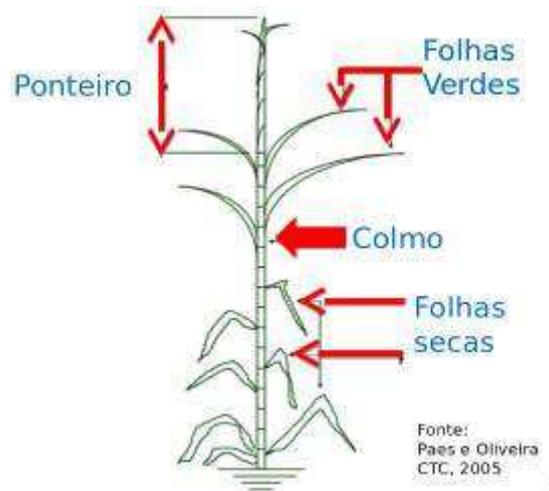


Figura 2.2 - Partes da cana-de-açúcar (adaptado de RODRIGUES, 2015)

A cana-energia é uma variedade desenvolvida a partir de cruzamentos entre híbridos. Isso pode alterar algumas de suas características como o fato de ser mais robusta, ter mais fibra e poder ser plantada em pastos já degradados, o que a torna mais versátil (GRANBIO, 2017a). Isso a torna matéria excelente para produção de biocombustíveis, além de gerar energia elétrica. Outra vantagem é o fato de precisar de menos água e insumos para crescer. A Fig. 2.3 a seguir faz uma comparação entre a cana-energia e a cana comum quanto ao seu diâmetro e sua capacidade de produção. (GRANBIO, 2017b).



Figura 2.3 - Diferenças entre cana comum e cana-energia (adaptado de GRANBIO, 2017b)

### 2.3. A produção de etanol de primeira geração (1G)

A produção de etanol é sazonal, isto é, ocorre de acordo com a colheita de cana-de-açúcar. Na região Centro-Sul a safra acontece de maio a novembro, ao passo que na região Nordeste de outubro a fevereiro. Os outros meses correspondem ao período de entressafra, no qual ocorrem manutenções em equipamentos, reformas, remodelamento da fábrica, modernização e aumento de capacidade (PELLEGRINI, 2009). O etanol pode ser obtido através de dois processos distintos de produção: de primeira geração (1G) ou de segunda geração (2G). A Fig. 2.4 é um fluxograma simplificado que representa as etapas da produção de etanol de primeira geração.



Figura 2.4 - Fluxograma simplificado do processo de produção de etanol 1G

Na produção do etanol de primeira geração, a cana é colhida, limpa (à seco ou com água) e enviada para as moendas, onde é produzido o melaço, solução que consiste em, aproximadamente, 40% em massa de sacarose. O caldo é fermentado com a adição de leveduras, sendo então produzido o vinho, e faz com que a sacarose se transforme em etanol. Por outro lado, os cerca de 30% de cana que se transformam em bagaço podem ser utilizados para a produção de etanol de segunda geração ou cogeração de energia (NOVA CANA, 2017a).

Na sequência, o etanol misturado ao vinho é então destilado, o que faz com que a composição entre etanol e água na mistura chegue a 96 e 4%, respectivamente. O etanol a essa composição corresponde ao etanol hidratado, usado para abastecer os veículos. Para produzir o anidro basta remover a água do outro, o que pode ser feito com as técnicas de desidratação e peneiração molecular, por exemplo. Sua graduação alcoólica, neste caso, corresponde a 99% e esse tipo de etanol é misturado à gasolina como combustível (NOVA CANA, 2017a).

#### 2.4. A cogeração de energia na indústria da cana-de-açúcar

Segundo DANTAS (2010), as usinas de cana-de-açúcar do Brasil e do mundo devem muito ao sistema de cogeração, já que é ele o responsável pelo suprimento de energia térmica e eletromecânica usado nesses lugares. Enquanto COSTA (1998), por sua vez, conceitua a cogeração como um processo que, através da combustão, a energia química do combustível é convertida em energia térmica, mecânica e por fim em energia elétrica.

No Brasil, segundo RAMOS et al (2003), apesar de mudar a eficiência com que os resíduos são utilizados, a cogeração é uma prática bem tradicional.

A cogeração, por um período de tempo, ficou restrita a alguns sistemas isolados e a indústrias com lixo combustível, já que esse sistema perdia seu espaço para grandes concessionárias devido ao potencial tecnológico. Porém, como explica SCHIRMER (2006), essa perda de espaço atrelada à necessidade de reduzir o CO<sub>2</sub> fez com que surgisse um novo modelo no setor elétrico que passou a estimular a produção local que fosse mais eficiente e ao mesmo tempo mais barata, para oferecer mais benefícios.

A partir de análises termoeconômicas, estudos (VIEIRA; OLIVEIRA JÚNIOR, 1998) constatam que ampliar a ação dos sistemas de cogeração na matriz energética brasileira traria vantagens como a diminuição no uso dos combustíveis e a diminuição na emissão de gases poluentes, que geraria redução de gastos.

As indústrias sucroalcooleiras em grande maioria são autossustentáveis em questão energética e térmica, inclusive algumas produzem mais do que precisam e exportam o excedente de energia. Sendo assim, é fato indubitável que a produção de energia desse setor tem sido menor do que o potencial possibilita e menor quando comparado a resultados de outros países industrializados. (BARJA, 2006).

Um estudo feito pelo Instituto Euvaldo Lodi (IEL, 2008) constatou que a biomassa da cana possui potencial para acrescentar, até 2020, cerca de 15 mil MW de eletricidade ao sistema elétrico brasileiro. Esse exemplo equivale a uma nova usina de Itaipu, que é mundialmente reconhecida. Essa constatação revela o quanto essa área tem a oferecer a fim de suprir a demanda energética desse país que possui proporções geográficas continentais.

## **2.5. Os tipos de manutenção**

Em relação aos nomes que podem ser usados para definir os tipos existentes de manutenção, pode ainda existir confusão. Entretanto, se faz necessário que o conceito seja sempre compreendido com êxito, uma vez que a escolha deve ser condizente com as necessidades do equipamento ou instalação (COMITTI, 2004).

### *2.5.1. Manutenção corretiva*

Quando o desempenho decepciona as expectativas ou há presença de falhas, a manutenção corretiva é usada, sendo dividida em planejada ou não planejada.

A manutenção corretiva não planejada ocorre depois que a falha já foi gerada, de forma aleatória. O custo elevado é um fato importante, já que possivelmente haverá extensão dos danos e uma parte da produção é perdida. Em casos que só há a manutenção corretiva, ela se torna reativa, já que ela fica à mercê dos equipamentos.

Já a manutenção corretiva planejada é mais segura, ágil e econômica. Além de haver um acompanhamento prévio, muitas vezes a própria equipe da gerência prefere que os equipamentos operem até a falha, o que permite que a manutenção já esteja planejada e encaixada nos planos da empresa.

### *2.5.2. Manutenção preventiva*

Responsáveis por diminuir ou evitar falhas, além de colaborar no desempenho dos equipamentos, a manutenção preventiva obedece um planejamento que se baseia em intervalos de tempo definidos.

A boa prevenção é aquela que prioriza o cuidado com os intervalos de tempo. Porém, quando esses períodos são conservadores demais levam a mais paradas, muitas vezes desnecessárias. Essas pausas implicam em trocas de peças repetidas vezes, que poderiam ser evitadas.

Esse tipo de manutenção é bastante utilizado nos lugares em que a produção é contínua ou naqueles nos quais as falhas podem representar grandes catástrofes e risco ao meio ambiente.

### *2.5.3. Manutenção preditiva*

Ela indica a performance das máquinas de forma sistemática, por meio de um grupo de práticas que possuem variáveis e diversos parâmetros. Assim define a necessidade de uma possível intervenção.

Isso possibilita que os equipamentos sejam utilizados por mais tempo e ainda assim permite que as intervenções sejam pensadas com antecedência pois quando os dados revelam a necessidade delas, ocorre a Manutenção Corretiva Planejada.

Entre as vantagens do uso da manutenção preditiva constata-se a redução do custo e dos prazos de intervenção, e o aumento da disponibilidade de equipamentos e da segurança da operação. Além disso, ela reduz 2/3 de prejuízos e 1/3 dos gastos que haveriam com o número demasiadamente alto de paradas (BRITO, 2002).

#### 2.5.4. *Manutenção detectiva*

Em casos de sistemas de produção ou comando, essa manutenção é efetuada por conseguir detectar falhas que são imperceptíveis ou estão ocultas aos responsáveis pela manutenção.

Um dos exemplos mais utilizados é sobre o circuito que comanda a entrada, nos hospitais, de geradores. Em uma possível queda de energia o gerador não funciona, nesse caso se torna necessário que o circuito seja acionado com certa periodicidade, a fim de que seu funcionamento não seja prejudicado.

A manutenção detectiva tem crescido progressivamente ao longo das décadas, já que a industrialização permitiu a ampliação cada vez maior da automação nas indústrias. Dessa forma, quando há instrumento de controle ou automação, esse modelo de manutenção deve estar presente para garantir que o sistema seja confiável.

#### 2.5.5. *Engenharia de manutenção*

O aumento da manutenção preditiva foi responsável por quebrar um paradigma em relação à engenharia de manutenção, pois mudou a execução das atividades e promoveu políticas que melhoram constantemente essa área.

Para KARDEC e NASCIF (2009) “perseguir benchmarks, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo” é um ótimo resumo para dar significado ao termo engenharia de manutenção. Apesar disso, destaca a importância de alguns fatores para atingir a excelência, como aumentar a segurança, a disponibilidade; fazer análise e estudo sobre as falhas; solucionar problemas tecnológicos; fazer análises críticas e zelar sempre pela documentação técnica. (KARDEC; NASCIF, 2009)

Adotar a engenharia de manutenção inclui além do acompanhamento dos equipamentos, vários dados sobre a manutenção que possibilitam melhorias futuras por meio de estudos feitos através deste.

# CAPÍTULO III

## METODOLOGIA

### 3.1. Etapas da metodologia proposta

Este trabalho tem como objetivo elaborar planos de manutenção preventiva para diversos equipamentos de uma planta de cogeração do setor sucroalcooleiro que usa biomassa como combustível. Como uma usina de produção de etanol envolve diversos tipos e quantidades de equipamentos, optou-se por analisar os mais críticos para o processo em geral, isto é, tanto aqueles que, ao sofrerem alguma quebra, ocasionavam uma parada em toda a produção, quanto aqueles que sofrem quebras recorrentes, o que aumenta os custos para a empresa.

É importante ressaltar que a usina em questão trabalha no regime de safra e entressafra, nos meses de março a novembro e de dezembro a fevereiro, respectivamente. A primeira corresponde ao período de produção de etanol, operando 24 horas por dia durante todos os dias da semana, ao passo que a segunda se refere ao período em que essa é paralisada, onde a maioria dos seus equipamentos são desmontados para realizar manutenções que demandam maior tempo, a fim de prepara-los para obter um maior rendimento na safra seguinte. Por ser a época do ano em que ocorre o maior volume de chuvas no Brasil, a atividade de colheita de cana-de-açúcar (matéria prima) não é possível de ser realizada, então isso faz com que esse seja o período ideal para a entressafra.

Embora ocorra a entressafra, não é possível que todos os equipamentos sejam reparados nesse período, devido ao alto custo e tempo que isso demandaria. Sendo assim, é necessário

que sejam elaborados planos de manutenção preventiva durante o período de safra, a fim de que não ocorram quebras inesperadas e paradas emergenciais, o que acarretam menor disponibilidade das máquinas e maior custo nos reparos, enquanto que as paradas programadas proporcionam maior disponibilidade e menor custo.

Inicialmente foi realizada uma análise termodinâmica do sistema de geração de vapor com o intuito de compreender as faixas de temperatura e pressão adequadas para que o processo de produção de etanol ocorra com a melhor qualidade possível.

Posteriormente, foram levantadas as principais falhas ocorridas em diversos equipamentos entre os anos de 2014 e 2018 e que causaram paradas emergenciais da usina para realizar as respectivas manutenções corretivas e retomar a produção. Baseado nesse levantamento, foram identificados quais eram os mais críticos e que necessitavam de ser analisados.

Para cada parada ocorrida, foram realizadas análises de falhas através do uso de ferramentas de gestão de Lean Manufacturing e Seis Sigma a fim de determinar a causa raiz de cada um dos eventos e então poder elaborar os respectivos planos de ação.

Os dados utilizados para elaborar as análises de falhas foram obtidos a partir de relatórios, denominados RPA (Relatório Preliminar de Anomalias), emitidos por escrito por parte dos operadores da produção que estavam no horário e local de cada acontecimento. Esses possuíam como informações o tipo de equipamento, o setor onde estava instalado, a data e horário do evento e o nome do operador que estava na área naquele momento. Ao serem preenchidos, eram destinados ao setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), encarregado de elaborar o relatório formal no sistema da empresa e de agendar a reunião para a realização das análises de falhas.

Para garantir maior assertividade e qualidade nas análises de falhas, participou desse processo toda a equipe de engenharia, tanto o setor de produção como o de manutenção, pois assim foi possível promover a discussão dos problemas analisados sob diferentes pontos de vista.

Reunida a equipe, o primeiro passo foi levantar as possíveis causas para a ocorrência do problema analisado. Para isso, foi realizado um brainstorming seguido da técnica da multivotação, para eleger as melhores causas. O primeiro, cujo termo significa “tempestade cerebral” ou “tempestade de ideias” consiste em um trabalho de equipe no qual o objetivo é gerar, em um curto prazo, uma grande quantidade de ideias sobre um assunto a ser resolvido. Já o segundo consiste em um recurso utilizado em equipe para eleger as melhores alternativas

que surgiram pelo brainstorming. Feito isso, foi possível elaborar o diagrama de Ishikawa, ou diagrama de causa e efeito com as causas mais votadas pela técnica da multivotação. Esse diagrama é uma ferramenta visual para organizar as informações, a fim de estabelecer e esclarecer as relações entre um efeito e suas causas principais, organizando-as nos seguintes conjuntos de causas: Máquinas, Método, Material, Meio Ambiente, Medição e Mão-de-Obra.

Concluída essa etapa, foi realizado o método GUT para priorização de ações. Quando não há dados quantificáveis para priorizar ações um bom método a ser utilizado é o GUT. A letra G significa a Gravidade, isto é, quanto se perderia pelo fato de não se tomar uma ação para solucionar um problema. A letra U, por sua vez, significa a Urgência, isto é, o prazo em que é necessário para evitar o dano. Já a letra T significa a Tendência, ou seja, a propensão que o problema poderá assumir se a ação não for tomada. Neste método, foram atribuídos pesos de 1 a 5 para as variáveis G/U/T aplicadas a cada uma das causas listadas e então foram multiplicados os valores das variáveis, o que permitiu obter a ordem de prioridade das ações a serem tomadas, começando pela causa de maior pontuação e assim por diante, caso não fosse possível encontrar a solução.

Definida a ordem de prioridade foi realizada a técnica dos “5 por quês” na possível causa prioritária eleita pelo passo anterior. Trata-se de uma técnica para encontrar a causa raiz de um defeito ou problema. Esta ferramenta é muito usada na área da qualidade, mas na prática se aplica em qualquer área e seu princípio é muito simples: ao encontrar um problema, deve-se realizar cinco interações perguntando o porquê daquele problema, sempre questionando a causa anterior.

Ao obter a causa raiz foi possível então elaborar um plano de ação 5W2H para solucionar o problema. Por esse plano de ação é possível organizar e descrever todos os detalhes da ação a ser tomada, através de cada sigla como segue abaixo:

- What (O quê) – Especificar o que será feito;
- Who (Quem) – Especificar o responsável para executar ou coordenar a ação;
- Where (Onde) – Especificar o local onde será executada a ação ou a sua abrangência;
- When (Quando) – Especificar o prazo para executar a ação;
- Why (Por quê) – Explicar a razão pela qual a ação deve ser feita;
- How (Como) – Especificar a forma pela qual a ação deverá ser feita;
- How much (Quanto custa) – Prover informações sobre o custo (orçamento) necessário para executar a ação.

Caso não fosse solucionado o problema, a técnica dos “5 por quês” seria aplicada para a segunda causa mais votada no método GUT e assim sucessivamente, até que a causa raiz fosse devidamente tratada.

Com o plano de ação colocado em prática e a partir de todas as análises de falhas finalizadas, foram elaborados os planos de manutenção preventiva para os equipamentos em questão.

Na Fig. 3.1 abaixo é apresentada uma lista contemplando as etapas referentes à metodologia proposta.

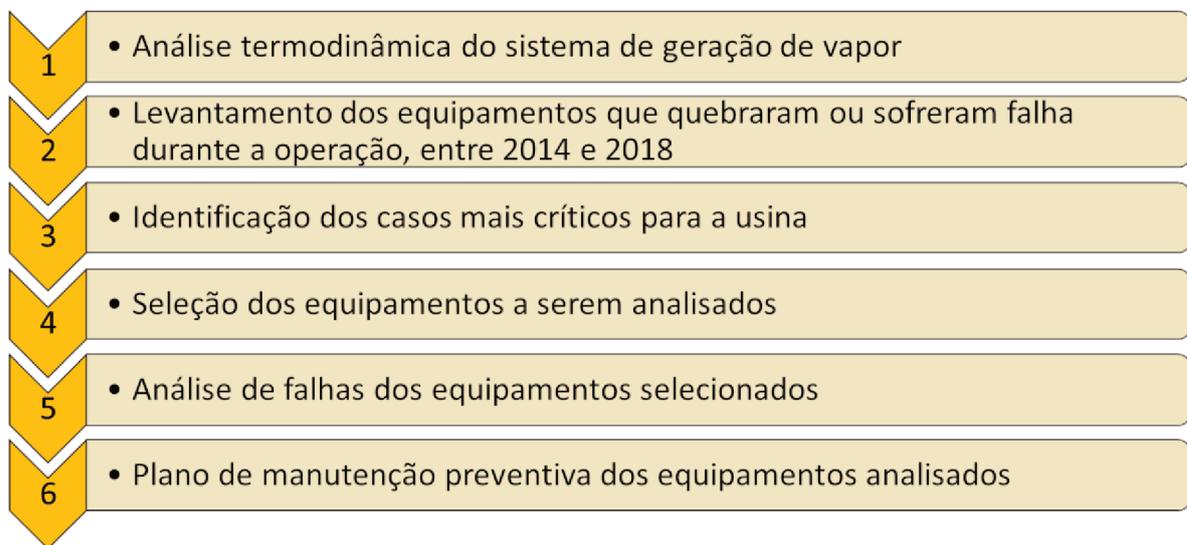


Figura 3.1 - Etapas da metodologia proposta

### 3.2. Análise prévia

Para o projeto de manutenção de equipamentos de uma planta do setor sucroalcooleiro que usa biomassa como combustível, o objeto de estudo foi uma usina localizada no centro oeste brasileiro capaz de produzir cerca de 70.000 litros de etanol por hora e de exportar cerca de 55 MW de energia por hora.

A fim de compreender a importância de um plano de manutenção eficiente, uma hora de produção dessa usina, considerando o preço de venda de um litro de etanol a R\$1,79 e o preço de exportação de 1MW de energia a R\$270,00 (dados retirados do setor de planejamento

e controle da produção da empresa em novembro de 2018), equivale a cerca de R\$140.000,00. Supondo que houvesse a quebra de algum equipamento interrompendo a produção em uma hora, ela deixaria de produzir o equivalente a esse valor, isso sem contar os custos das peças e do equipamento quebrado em questão, além da mão-de-obra parada, entre outros.

Dessa forma, fica evidente a necessidade da execução deste trabalho, pois impedir a ocorrência dessas paradas emergenciais ao substituí-las por paradas programadas faz com que se tenha um aumento na lucratividade a partir da redução de custos e da redução do tempo inativo.

A planta se divide em três grandes áreas: a agrícola, que corresponde às atividades desde o preparo e plantio do solo até a colheita da cana-de-açúcar; a manutenção automotiva, que corresponde a todo o setor de manutenção das máquinas e equipamentos utilizados pela área agrícola; e a indústria, o foco do trabalho, que corresponde às atividades de recebimento de cana até a produção de etanol e cogeração de energia.

Primeiramente, foi necessário compreender todo o processo industrial da planta, desde a recepção de cana até o produto final, o etanol.

O processo industrial inicia-se com as etapas de recepção e preparo de cana, em que os caminhões, carregados, tombam suas trelas nos hilos, esvaziando-as, para retirar as impurezas minerais e vegetais da cana. Em seguida, caem em esteiras, passando pelo picador (eixo maciço com facas para cortá-las em pedaços pequenos), desfibrador (eixo maciço com martelos para desfibrar a cana) e por um eletroímã, para retirar possíveis impurezas metálicas, seguindo então para o difusor modular.

A cana previamente preparada é alimentada no difusor por uma esteira transversal cujo fundo ajustável garante uma distribuição uniforme do bagaço na extensão da largura do difusor. Nesse equipamento é onde ocorre a extração do caldo do bagaço, que, com menor umidade, é a fonte de biomassa usada nas caldeiras para a geração de vapor.

Um conjunto de 15 captadores em aço inoxidável permite a captação do caldo percolado, sendo que o caldo do último captador segue para as peneiras rotativas e o caldo dos dois captadores subsequentes segue para os aquecedores e retorna ao difusor. Os demais fazem recirculação do caldo em contracorrente ao movimento do leito, que por sua vez é descompactado através de conjuntos de roscas afofadoras a fim de manter a permeabilidade do colchão (bagaço) garantindo a eficiência na extração. Vale ressaltar que a temperatura é fundamental para o processo de difusão, então há um conjunto de aquecedores para esquentar o caldo proveniente dos captadores e recircular no interior do difusor. Além disso, são

necessários mais cinco pontos de adição de vapor diretamente em cinco captadores para manter a temperatura interna.

O caldo extraído ao longo do difusor, ao recircular e passar pelo último captador, passa por duas peneiras rotativas para depois chegar no tanque de caldo misto peneirado. Por outro lado, no último estágio do difusor há o rolo desaguador cujo objetivo é fazer o pré-desaguamento do colchão. Após esse processo, um descarregador rotativo (kicker), montado na saída do difusor, tem a função de descompactar esse colchão e uniformizar a alimentação de bagaço nas moendas.

O conjunto de secagem é composto por uma moenda desaguadora de três rolos a fim de realizar o pré-desaguamento do bagaço seguido por uma moenda secadora de quatro rolos, que é onde ocorre a maior redução de umidade. A função do conjunto é garantir a umidade adequada do bagaço para a queima nas caldeiras, então possui fundamental importância para complementar a extração de caldo no difusor. É importante destacar que o caldo extraído pelo conjunto de moendas é reaproveitado, retornando ao difusor antes da última linha de afofadoras.

Ao sair da moenda, o bagaço é descarregado em uma esteira de borracha, denominada EB-7601, seguido por outra de mesmo material denominada EB-7603. Dessa, é destinado a uma esteira metálica, denominada EM-7605, que é a responsável pela alimentação de bagaço na fornalha das caldeiras, as quais possuem a função de produzir vapor superaquecido, utilizado tanto para cogeração de energia como para a produção de etanol. Além do bagaço proveniente da saída da moenda, há um estoque de bagaço transportado por outras esteiras usado para alimentar as caldeiras. Sua utilização ocorre em casos onde um desarme geral da planta não interfere no funcionamento da esteira metálica EM-7605, alimentadora. Caso contrário, tal desarme paralisaria toda a indústria.

Retornando ao caldo misto peneirado obtido no difusor, esse é bombeado ao tratamento de caldo, onde ocorrem os processos de caleação, aquecimento, decantação e concentração, obtendo o mosto, o qual é resfriado e destinado a fermentação.

No processo fermentativo, o mosto é resfriado pela água em um trocador de calor e é alimentado nas dornas por cerca de seis horas. Nessas, há a injeção de fermento proveniente das cubas, o qual possui a função de fermentar por cerca de uma hora e meia esse mosto, isto é, as leveduras quebram as moléculas de açúcar presentes no mosto, obtendo o vinho bruto. Esse, por sua vez, passa por filtros e então é injetado nas centrífugas, as quais possuem a função de separar o fermento do vinho. O primeiro é então alimentado nas cubas e o segundo, agora deslevedurado, na dorna volante, seguindo para a destilaria.

A destilaria é a última etapa do processo de produção de etanol. O processo baseia-se no aquecimento e resfriamento dos fluidos, o que faz com que o etanol presente nos mesmos evapore e então, ao ser condensado, seja obtido no estado líquido. Há duas colunas, denominadas A e B, responsáveis pela produção de etanol hidratado. O vinho, proveniente do setor de fermentação, ao passar pela coluna A, é separado em vinhaça e um vapor alcoólico. A vinhaça são os resíduos do processo, que por ser rica em potássio, é reutilizada para irrigar as lavouras de cana no setor agrícola, atividade essa denominada de fertirrigação. O vapor alcoólico, por sua vez, é condensado em um trocador de calor e então entra na coluna B. Nela, devido ao vapor proveniente das caldeiras, há a separação entre flegmaça, isto é, água quente, e etanol hidratado evaporado. Então, segue para outro trocador de calor para ser condensado e obter o etanol hidratado no estado líquido, pronto para ser comercializado.

No entanto, há também a possibilidade de produzir etanol anidro, que se dá a partir da desidratação do hidratado por meio de resinas, presentes na peneira molecular, que absorvem sua água, encerrando assim o processo.

Na Fig. 3.2 abaixo está um fluxograma simplificado dos processos de produção de etanol e cogeração de energia da usina em questão.



Figura 3.2 – Fluxograma simplificado dos processos de produção de etanol e cogeração de energia

Como foi possível perceber, trata-se de uma área ampla e complexa, com inúmeros equipamentos. Sendo assim, foi dada a ênfase para os considerados mais críticos, isto é, aqueles que, caso sofressem alguma quebra, causariam a parada de toda a produção de etanol. Além disso, foram considerados como críticos também aqueles que sofrem várias quebras e estão em áreas pontuais da produção, visto que esses fatos repetitivos geram maiores custos para a

empresa. Para esses, há uma redundância na instalação, motivo pelo qual suas quebras não acarretam em interrupções na produção. Sendo assim, o intuito foi de minimizar suas falhas, buscando, quando possível, eliminá-las, a fim de que não prejudiquem o processo.

A equipe do setor de PCM era composta por um supervisor e analistas, ao passo que a da manutenção era formada por mecânicos, operadores de máquinas de usinagem, soldadores, caldeireiros, técnicos operacionais, lubrificadores e analistas de manutenção, sendo gerida por um outro supervisor. Ambas as equipes eram geridas pelo coordenador de manutenção e pelo gerente industrial.

Como citado previamente na metodologia, alguns equipamentos da usina operavam em condições severas de temperatura e pressão ou em ambientes agressivos, o que ocasionava em quebras dos mesmos e em paradas da produção. Dessa forma, sempre que alguma situação desse tipo ocorria, o operador da produção presente no local elaborava um relatório manuscrito (RPA), contendo, além de seu nome, os dados da anomalia ocorrida como: a natureza do evento, o supervisor do turno, o tipo de equipamento, o setor onde estava instalado e a data e horário em que ocorreu.

Ao ser preenchida, a folha era entregue ao setor de PCM, encarregado de registrar o fato ocorrido, juntamente com os dados recebidos, no sistema da empresa, isto é, transcrevia os dados da folha recebida para elaborar o RPA formalmente.

A Fig. 3.3 abaixo ilustra o RPA preenchido formalmente pelo setor do PCM.

RELATÓRIO PRELIMINAR DE ANOMALIAS					
Dados Gerais					
Setor		Data início do evento		Hora	
		Data fim do evento		Hora	
Natureza do Evento					
Supervisor de Turno					
Emitente RPA					
Ativo					
Componente					
Descrição do Cenário					
1) O que ocorreu?					
2) Onde ocorreu?					
3) Como ocorreu					
4) Quando ocorreu					
5) Quem atuou?					
Avaliação da Falha					
Falha do ativo provoca parada do setor ?	Reduz o setor em 100%				
Falha repetitiva na safra ?	Nenhuma falha na safra				
Custo da manutenção ?	Menor que R\$ 1.000,00				
Falha do ativo afeta a produção ?	Reduz a produção do setor em 100%				
Falha do ativo afeta SSMA ?	Não produz consequência				
Fator de avaliação da falha					
SERÁ OBRIGATÓRIO REALIZAR ANÁLISE DE FALHA SEMPRE QUE:					
O fator de avaliação da falha for superior a 50%					
A parada do setor for superior a 2 horas					
O ativo que falhou possuir criticidade A					
Unidade ou OD julgar necessário					
Comentários e Observações					
Disposições Imediatas					
Fotos do Evento					
Responsável pelo RPA					

Figura 3.3 - RPA preenchido formalmente pelo PCM

Posteriormente, uma reunião com toda a equipe de engenharia era marcada, caso necessário de acordo com o RPA, a fim de elaborarem as análises de falhas, para determinar a causa raiz através de ferramentas do Lean Manufacturing e Seis Sigma.

As ferramentas utilizadas eram o diagrama de causa e efeito (Ishikawa), método GUT de priorização de ações, técnica dos cinco por quês e plano de ação 5W2H, cujos modelos estão representados, respectivamente, pela Fig. 3.4 e pelas Tab. 3.1, 3.2 e 3.3.



Tabela 3.3 - Plano de ação 5W2H usado nas análises de falhas

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
						R\$ -				
						R\$ -				
						R\$ -				
						R\$ -				
						R\$ -				

Após a realização das análises de falhas, foi possível determinar as causas raízes de cada falha ocorrida dentre as analisadas, para tomar as ações corretivas através do plano de ação e ter em dados um histórico das principais máquinas que sofreram intercorrências que nesses anos.

Com essas informações em mãos e ciente da importância desses equipamentos para a usina, foi possível elaborar um projeto de manutenção para os mesmos. Esse contemplava as ações e itens a serem verificados em determinados períodos para cada um, a fim de garantir o melhor funcionamento possível, o que possibilitaria aumentar a disponibilidade e consequentemente reduzir os custos de ações corretivas para a empresa, porque uma anomalia em uma determinada peça pode causar problemas em outros componentes, ao passo que se tratado preventivamente, o custo se resumiria apenas ao primeiro avariado, já que os demais não se quebrariam.

É importante destacar a presença de um inspetor responsável por realizar análises de vibração em vários equipamentos da usina, seguindo rotas diárias pré-definidas juntamente com a equipe de manutenção, o que permite detectar algumas anomalias ou irregularidades em seu funcionamento, por meio da análise dos espectros, os quais poderiam indicar desbalanceamento de algum eixo ou desgaste de algum componente, por exemplo.

### 3.3. Equipamentos analisados

Foi realizado um levantamento entre os anos de 2014 e 2018 dos equipamentos que mais sofreram quebras ou falhas em seu funcionamento e então foi avaliado quais foram as consequências desses eventos para o setor industrial. Assim, com base nesses dados, as máquinas foram escolhidas.

Essas, por sua vez, tratam-se de bombas centrífugas, bombas de vácuo, redutor planetário, redutor helicoidal robusto e redutor de engrenagens cônicas compacto, representados pela Tab. 3.4 abaixo:

Tabela 3.4 - Equipamentos críticos analisados

Equipamentos críticos analisados		
Item	Descrição	Local de instalação
1	Bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP	Difusor modular
2	Bomba centrífuga bipartida axialmente - KSB RDL	Torre de resfriamento de água
3	Bomba de vácuo - NASH linha vectra GL	Destilaria - peneira molecular
4	Redutor planetário - SEW série XP	Moenda
5	Redutor de engrenagens cônicas compacto - SEW série MC	Esteira de borracha de bagaço
6	Redutor helicoidal robusto - SEW série X	Esteira metálica de bagaço

### 3.3.1. Bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP

A bomba centrífuga radial analisada é de simples estágio, possui sucção simples horizontal e descarga vertical. Seu corpo é espiral, horizontal, fundido em uma só peça e apoiado em pés próprios, sendo dotado de anel de desgaste no lado de sucção ao passo que o rotor é dotado de anel de desgaste no lado de pressão. O eixo é protegido por luva protetora facilmente substituível na região de vedação e sua vedação, por sua vez, é realizada por meio de engaxetamento.

Esse tipo de bomba possui inúmeras aplicações, como: indústria química e petroquímica, indústria de açúcar e álcool, alimentação de caldeiras, circuitos auxiliares em refinarias, abastecimento de água, irrigação, ar condicionado, combate a incêndio, drenagem, circulação de óleo térmico, entre outras.

Na usina em questão, há duas unidades dessa bomba operando em redundância, isto é, enquanto uma opera, a outra se torna a sua reserva a fim de suprir alguma emergência. São usadas para bombear o caldo misto peneirado extraído da cana desfibrada no difusor modular para o setor de tratamento de caldo, para depois ser encaminhado para a fermentação. Sendo assim, por ter um papel importante na parte inicial do processo de produção de etanol é fundamental que mantenha um bom funcionamento durante a safra sem haver problemas emergenciais.

A Fig. 3.5 ilustra a bomba radial utilizada pela planta para essa aplicação.



Figura 3.5 - Bomba centrífuga radial EQUIPE EQP

### 3.3.2. Bomba centrífuga bipartida axialmente – KSB RDL

O corpo dessa bomba é bipartido axialmente, de forma espiral, sendo composta de corpo superior e corpo inferior, tendo nesse último, flanges de sucção e recalque horizontais e opostos. As superfícies de contato entre os corpos são usinadas e adesivos vedantes de silicone são os ideais para realizar a sua vedação. Para fins de inspeção ou conserto, vale ressaltar que não há a necessidade de remover as tubulações de sucção e de recalque para remover o corpo superior do inferior, o que faz com que a bomba e o motor não se desalinhem.

Seu rotor é radial, de dupla sucção, com palhetas de ampla curvatura, fixado no eixo por meio de dois conjuntos de peças simétricas. O eixo, por sua vez, é apoiado em dois mancais de rolamentos, dispostos externamente em ambos os lados do corpo da bomba e sua vedação é realizada por meio de engaxetamento.

Esse tipo de bomba é adequado para bombeamento de líquidos limpos ou turvos, possuindo diversas aplicações na indústria. Para a usina em questão, um conjunto de sete dessas bombas em paralelo (seis operando e uma de reserva) é usado para bombear água da torre de resfriamento de volta para os processos de tratamento de caldo, fermentação e destilaria, sendo

sua vazão, pressão e temperatura muito importantes para manter a qualidade da operação, visto que essa água é utilizada na maioria dos trocadores de calor presentes nessas áreas.

Portanto, uma falha no funcionamento de uma dessas bombas teria forte influência na vazão do sistema, o que prejudicaria a troca térmica nos trocadores de calor. Além disso, enquanto uma não estivesse em operação, a de reserva a substituiria, mas caso mais de uma deixasse de operar as outras teriam que suprir sua ausência para manter as mesmas condições de antes, o que reduziria a eficiência do processo de resfriamento de água e aumentaria a vulnerabilidade das demais quanto a ocorrência de novas falhas.

A Fig. 3.6 ilustra a bomba bipartida axialmente utilizada pela planta.



Figura 3.6 - Bomba bipartida axialmente KSB RDL

### 3.3.3. Bomba de vácuo – NASH – Linha Vectra GL

A bomba de vácuo de anel líquido é fabricada em aço inoxidável, sendo de acionamento aberto e de simples estágio. O conjunto eixo-rotor fica dentro de uma câmara formada pelo corpo.

O líquido de selagem é introduzido através da lateral e do cone. A mistura dele com o gás comprimido sai pela descarga da bomba. O movimento do líquido de selagem, sendo girado dentro da bomba, funciona como um compressor para o gás, agindo ainda como selo e evitando vazamento do gás para a atmosfera.

O líquido compressor enche as câmaras do rotor. A força centrífuga esvazia sua câmara forçando esse líquido contra o corpo. Assim, o afastamento do líquido do centro do rotor produz vácuo, que aspira ar através da janela de entrada do cone. Depois, o líquido compressor é

forçado de volta ao centro do rotor. Por fim, o líquido e o gás comprimido são descarregados através da janela de descarga.

Essa bomba pode ser encontrada em diversas aplicações nas indústrias de plástico, alimentícia, química, gráfica, petroquímica, açúcar e etanol, transporte pneumático, filtração a vácuo, entre outros.

Na planta analisada, sua função é de retirar água das resinas presentes na peneira molecular da destilaria, as quais são responsáveis pela desidratação do etanol hidratado ao absorver a água presente em seu interior para a produção de anidro. Caso ocorresse alguma quebra na bomba de vácuo e então esta parasse de funcionar, não seria possível retirar a água das resinas, que iriam saturar e superaquecer. Essas, por sua vez, não conseguiriam desidratar o etanol hidratado, fazendo com que não fosse possível a obtenção do etanol anidro.

Há duas bombas desse tipo para essa aplicação, sendo uma em operação e outra de reserva em estoque como sobressalente, não sendo praticada a redundância na linha. Sendo assim, por estar diretamente ligada ao processo de produção de etanol anidro, é fundamental que ela não quebre durante o seu funcionamento.

A Fig. 3.7 ilustra a bomba de vácuo analisada.



Figura 3.7 - Bomba de vácuo NASH linha Vectra GL

#### 3.3.4. Redutor planetário – SEW série XP

Redutores planetários da série XP possuem como principal aplicação o acionamento elétrico de ternos de moenda. Possuem quatro engrenagens satélites no último trem planetário, o que permite uma melhor distribuição do torque ao eixo de baixa rotação e melhor absorção de eventuais choques provenientes dos rolos da moenda, sem comprometer os demais componentes. Seu eixo, suas engrenagens e sua carcaça são produzidos em ligas de aço especiais.

Redutores da série XP possuem como principais características um alto torque de saída (até 3.000 kNm), montagem com braço de torque ou pés, eixo de baixa rotação oco ou sólido, flange para motor ou eixo cardan e sistema de lubrificação forçada.

Em moendas, os planetários podem ser usados tanto como acionamentos principais, substituindo os sistemas tradicionais, quanto como acionamentos auxiliares, fornecendo às moendas as potências adicionais necessárias à elevação de suas capacidades produtivas.

Suas principais vantagens são: manutenções menos frequentes e mais rápidas, maior disponibilidade da moenda, eliminação da necessidade das grandes fundações de concreto, necessárias aos acionamentos convencionais e possibilidade de melhor aproveitamento da energia gerada.

O redutor planetário em análise possui três estágios de redução, eixo de saída maciço com chaveta e montagem com pé. Qualquer quebra ou falha em seu funcionamento causa uma parada da moenda, o que acarreta na parada do difusor e também do setor de recepção e preparo, não sendo possível extrair o caldo da cana. Além disso, as moendas devem operar em seu ponto de máxima eficiência para que consiga com efetividade desempenhar sua função, que é de reduzir a umidade do bagaço que será injetado na fornalha da caldeira. Dessa forma, é fundamental que esse equipamento não quebre e nem apresente falhas em seu funcionamento.

A Fig. 3.8 ilustra o redutor planetário utilizado nos ternos das moendas.



Figura 3.8 - Redutor planetário SEW série XP

### 3.3.5. Redutor de engrenagens cônicas compacto – SEW série MC

Os redutores industriais SEW da série MC são de engrenagens helicoidais ou de engrenagens cônicas especialmente compactos. A série possui uma faixa de torque de 8 a 65 kNm, relações de transmissão médias (de 7,1 a 112), e pode ser encontrada com oito tamanhos diferentes, segundo dados do fabricante. O arranjo em eixos paralelos exige pouquíssimo espaço, o que garante uma maior liberdade na concepção do sistema.

As principais vantagens dessa série de redutores da SEW são a alta densidade de potência, grande capacidade de transmissão de torques, proporciona prazos curtos de entrega de peças visto que essas são disponibilizadas em estoque, trata-se de uma unidade robusta com capacidade de manutenção mundial e possui diversas faixas de torque.

Suas áreas de atuação compreendem, dentre outras, o transporte de cargas pesadas, misturadores, acionamento de guias e trituradores. São adequados para montagem horizontal, vertical e ao alto, na máquina do cliente

O local de operação desse redutor é junto à esteira de borracha 03 de bagaço. Ao sair da moenda, o bagaço cai na esteira de borracha 01, que por sua vez o transfere para a esteira de borracha 03. Essa esteira possui a função de transferir o bagaço recebido para a esteira metálica 05, a qual alimenta as fornalhas das caldeiras. Trata-se de um redutor de engrenagem cônica, de 3 estágios, montado com braço de torção e com eixo de saída horizontal, que por sua vez é oco, então permite conexão com chaveta ou disco de contração.

Descrita a sua função, é imprescindível que esse redutor não quebre, pois primeiramente acontece a parada da moenda, o que acarreta depois na parada do difusor e também do setor de recepção e preparo, não sendo possível extrair o caldo da cana.

A Fig. 3.9 ilustra o redutor analisado.



Figura 3.9 - Redutor de engrenagens cônicas compacto SEW série MC

### 3.3.6. Redutor helicoidal robusto – SEW série X

Os redutores industriais da SEW da série X são robustos de utilização universal, capazes de se adaptar de modo ideal às condições específicas. Cobrem uma faixa de torque médio de 6,8 a 475 kNm e possui um grande número de equipamentos opcionais predefinidos, o que oferece um alto nível de flexibilidade, de forma a ajustar o redutor industrial à aplicação específica com o menor número possível de componentes e com a maior disponibilidade.

A série X obedece às exigências de uma gama completa e extensa de redutores, o que pode ser evidenciado devido a elevada gama de relações de transmissão, tanto para redutores helicoidais quanto para cônicos. A durabilidade e a facilidade de manutenção foram consideradas no projeto do cárter, das engrenagens de baixo ruído e dos sistemas de arrefecimento.

Esse tipo de redutor possui como principais vantagens a elevada robustez de sua carcaça, sistema de arrefecimento eficiente, disponibilidade dos dois sentidos de rotação em uma única versão, economia de custos e redução de peso devido à densidade de potência e os vários tamanhos, flexibilidade nas opções de montagem e curtos prazos de entrega para versões padrão e peças de reposição.

Trata-se de um redutor helicoidal de 3 estágios, com eixo de saída maciço com chaveta e fixação adicional com pés. Nessa usina, possui como aplicação o acionamento da esteira metálica 05. Diferentemente da demais esteiras, essa possui taliscas que direcionam o bagaço recebido nos alimentadores de bagaço das fornalhas das caldeiras, o que faz com que seja um equipamento extremamente importante para o processo e então não venha a falhar ou quebrar, pois esses seriam fatos que acarretariam na parada das moendas, do difusor, da recepção e preparo de cana e conseqüentemente dos processos de produção de etanol em geral.

O redutor da série X aplicado está ilustrado na Fig. 3.10 abaixo.



Figura 3.10 - Redutor helicoidal robusto SEW série X

# CAPÍTULO IV

## ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Análises de falhas dos equipamentos

A prática das análises de falhas tem como objetivo evitar que novas falhas aconteçam nos equipamentos analisados. Isto é, consiste em interpretar as características de um sistema ou um componente deteriorado, identificar a causa raiz e promover ações para mitigar esses acontecimentos.

Conforme citado na metodologia, sempre quando ocorria alguma não conformidade em algum equipamento, primeiramente era preenchido um RPA pelo operador presente no local do acontecimento, o qual posteriormente era entregue para o PCM, responsável por formalizar o relatório e agendar uma data com toda a equipe de engenharia a fim de elaborar as análises de falhas correspondentes.

Para sua execução, foram utilizadas ferramentas dos sistemas de gestão Lean Manufacturing e Seis Sigma, tais como: diagrama de causa e efeito (Ishikawa), método GUT de priorização de ações, técnica dos cinco por quês e plano de ação 5W2H.

Abaixo seguem algumas intercorrências ocorridas na usina envolvendo os equipamentos selecionados no período previamente citado e as análises de falhas de cada um.

#### 4.1.1. *Análise de falhas da bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP*

No dia 11/08/2017 às 9:00h, houve o travamento do rolamento da bomba centrífuga que bombeia o caldo misto extraído no difusor para o tratamento de caldo, o que acarretou no desarme da bomba. O fato ocorreu devido à quebra do prato da válvula de retenção presente na tubulação de recalque. Com isso, além de trocar a válvula foi necessário trocar os componentes danificados da bomba. O problema foi detectado pelos operadores presentes no COI, que perceberam pelo painel de operações que a bomba havia desarmado. Entretanto, não houve a parada do processo como um todo pois havia uma bomba de mesmo tamanho e modelo instalada em paralelo na linha, justamente para redundância, então ao ser identificado o problema, a primeira foi bloqueada e essa foi colocada em operação.

Devido à ocorrência desse evento, foi realizada uma análise de falha por parte da equipe de engenharia, envolvendo integrantes da produção e da manutenção industrial.

Primeiramente, foi realizado um brainstorming para levantar as possíveis causas e, através da técnica da multivotação, as três causas mais votadas foram posicionadas em um diagrama de causa e efeito, como segue abaixo na Fig. 4.1.



Figura 4.1 - Diagrama de Ishikawa para a bomba centrífuga EQP

Com as causas levantadas, o próximo passo foi realizar o método GUT para priorização de ações. Foram atribuídos os valores para as variáveis G/U/T para tratar inicialmente a causa de maior valor no produto GxUxT, como pode ser visto na Tab. 4.1 abaixo.

Tabela 4.1 - Método GUT usado para a bomba centrífuga EQP

Causas		G	U	T	GxUxT	Priorização
1	CAVITAÇÃO	4	3	4	48	2
2	TRAVAMENTO DO ROLAMENTO	4	4	4	64	1
3	OPERAÇÃO DA BOMBA COM CARGA ACIMA DA NOMINAL	3	4	3	36	3
4					0	
5					0	
6					0	
7					0	
8					0	
9					0	
10					0	

Pontos	"G" (Gravidade)	"U" (Urgência)	"T" (Tendência)
5	Prejuízos ou Dificuldades Extremamente Graves	Necessária uma Ação Imediata	Se nada for Feito, o Agravamento será Imediato
4	Muito Graves	Com Alguma Urgência	Vai Piorar a Curto Prazo
3	Graves	O mais Ceddo Possível	Vai Piorar a Médio Prazo
2	Pouco Graves	Pode Esperar um pouco	Vai Piorar a Longo Prazo
1	Sem Gravidade	Não tem Pressa	Não vai Piorar ou Pode até Melhorar

Como é possível perceber, o travamento do rolamento foi eleito como a causa mais crítica. Assim, foi realizado a técnica dos cinco por quês para encontrar a causa raiz do problema e decidir a ação ou conjunto de ações mitigadoras, conforme Tab. 4.2 abaixo.

Tabela 4.2 - Técnica dos cinco por quês usada para a bomba centrífuga EQP

Classificação do Fenômeno / Problema					
O que aconteceu?	Como aconteceu?	Onde aconteceu?	Quando aconteceu?	Quem estava envolvido?	É um fenômeno recorrente?
DESARME DA BOMBA CENTRÍFUGA DO TANQUE DE CALDO MISTO	OPERADORES DO COI DETECTARAM A QUEDA DE PRESSÃO E VAZÃO NA LINHA DE CALDO MISTO QUE LIGA O DIFUSOR AO TRATAMENTO DE CALDO, DEVIDO AO DESARME DA BOMBA NO PAINEL DE OPERAÇÕES	DIFUSOR (TANQUE DE CALDO MISTO)	11/08/17 ÀS 9:00h	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	NÃO

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Ação Mitigadora
TRAVAMENTO DO ROLAMENTO	PRATO DA VÁLVULA DE RETENÇÃO SE SOLTOU E CHOCOU COM O ROLAMENTO	DESGASTE EXCESSIVO	VÁLVULA DEVERIA SER TROCADA NA ENTRESSAFRA MAS NÃO HAVIA OUTRA RESERVA	INVESTIMENTO NÃO HAVIA APROVADO COMPRAR ESSA VÁLVULA	TROCAR A VÁLVULA, TROCAR O ROLAMENTO E INSPECIONAR DEMAIS COMPONENTES DA BOMBA. TROCAR CASO NECESSÁRIO. ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA A BOMBA E MELHORAR O PLANEJAMENTO DOS INVESTIMENTOS.

Através dessa técnica, foi analisado que a possível causa raiz seria uma falha nos investimentos antes da safra, que não destinaram verba para trocar a válvula de retenção. Então, foram discutidas as ações mitigadoras e elaborado um plano de ação 5W2H para colocar em prática as mesmas, conforme Tab. 4.3 abaixo.

Tabela 4.3 - Plano de ação 5W2H para a bomba centrífuga EQP

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito?	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
TROCAR VÁLVULA, ROLAMENTO E INSPECIONAR DEMAIS COMPONENTES	11/08/2017	MECÂNICOS	OFICINA MECÂNICA E DIFUSOR	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO	CONFORME INSTRUÇÃO DE TRABALHO	R\$ -				X
ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA A BOMBA	ATÉ O FINAL DA SAFRA	PCM	NA PRÓPRIA UNIDADE	EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	COM BASE EM INSTRUÇÕES DO CATÁLOGO DO FABRICANTE	R\$ -		X		
MELHORAR O PLANEJAMENTO DOS INVESTIMENTOS	DIARIAMENTE	SETOR DE INVESTIMENTOS E LIDERANÇA	NA PRÓPRIA UNIDADE	GARANTIR QUE TENHAM PEÇAS SOBRESSALENTES QUANDO NECESSÁRIO	REUNIÃO ENTRE LIDERANÇA E SETOR DE INVESTIMENTOS	R\$ -			X	

Apesar do plano de ação criado, pode-se perceber que há uma tarefa não iniciada, a qual será apresentada na seção **4.2. Planos de manutenção preventiva**. É importante destacar que no caso específico dessa bomba, não houve nenhuma outra intercorrência ocorrida dentro do período analisado. Apesar disso, a elaboração de um plano de manutenção para esse equipamento foi colocada no plano de ação devido a sua importância e a necessidade de garantir sua disponibilidade ao prevenir futuras quebras.

#### 4.1.2. Análise de falhas da bomba centrífuga bipartida axialmente – KSB RDL

No dia 24/11/2017 às 10:32h, houve um aumento na temperatura da água na saída da torre de resfriamento. Essa água é a que retorna para os trocadores de calor dos processos de tratamento de caldo e fermentação, então é imprescindível que o controle de sua temperatura seja preciso e exato. O problema foi detectado pelos operadores presentes no COI (Centro de Operações Industriais), que perceberam que duas das seis bombas que estavam em operação entraram em alarme e então avisaram os operadores presentes na área de produção, que por sua vez perceberam um superaquecimento nas bombas. Pouco depois, ambas foram desarmadas e a bomba reserva foi colocada em operação, mas como há apenas uma bomba reserva para essa aplicação, a vazão que sai da torre em direção aos trocadores de calor diminuiu, o que aumentou a temperatura da água.

Diante da ocorrência desse evento, a equipe de engenharia foi reunida para realizarem a análise de falhas, começando por um brainstorming, seguido da multivotação e então o

diagrama de causa e efeito com as quatro causas consideradas mais relevantes, conforme Fig. 4.2.



Figura 4.2 - Diagrama de Ishikawa para a bomba KSB RDL

Após o levantamento, foi feito o método GUT a fim de priorizar as ações a serem tomadas a partir da causa considerada mais crítica, isto é, a de maior valor no produto  $G \times U \times T$ , como segue na Tab. 4.4.

Tabela 4.4 - Método GUT usado para a bomba KSB RDL

Causas		G	U	T	$G \times U \times T$	Priorização
1	VIBRAÇÃO DO EIXO DEVIDO A FALTA DE BALANCEAMENTO DO CONJUNTO GIRANTE	4	3	3	36	4
2	ATRITO DO ROTOR COM PARTES DO CORPO	5	5	4	100	2
3	DESGASTE DOS MANCAIS	5	5	5	125	1
4	BOMBA NÃO FOI DEVIDAMENTE ESCORVADA	4	4	3	48	3
5					0	
6					0	
7					0	
8					0	
9					0	
10					0	

Pontos	"G" (Gravidade)	"U" (Urgência)	"T" (Tendência)
5	Prejuízos ou Dificuldades Extremamente Graves	Necessária uma Ação Imediata	Se nada for Feito, o Agravamento será Imediato
4	Muito Graves	Com Alguma Urgência	Vai Piorar a Curto Prazo
3	Graves	O mais Ceddo Possível	Vai Piorar a Médio Prazo
2	Pouco Graves	Pode Esperar um pouco	Vai Piorar a Longo Prazo
1	Sem Gravidade	Não tem Pressa	Não vai Piorar ou Pode até Melhorar

Pelo método, o início de ações a serem tomadas seria sobre o desgaste dos mancais, que seria a causa do desarme das bombas. Sendo assim, para encontrar a possível causa raiz deste problema e eleger as ações mitigadoras, foi realizada a técnica dos cinco por quês, conforme representado na Tab. 4.5.

Tabela 4.5 - Técnica dos cinco por quês para a bomba KSB RDL

Classificação do Fenômeno / Problema					
O que aconteceu?	Como aconteceu?	Onde aconteceu?	Quando aconteceu?	Quem estava envolvido?	É um fenômeno recorrente?
AUMENTO DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA SAÍDA DA TORRE DE RESFRIAMENTO	OPERADORES DO COI PERCEBERAM QUE DUAS DAS SETE BOMBAS DA TORRE DE RESFRIAMENTO SUPERAQUECERAM E PARARAM DE RECALCAR, OCORRENDO O AUMENTO DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA SAÍDA DA TORRE DE RESFRIAMENTO.	TORRE DE RESFRIAMENTO	24/11/2017 ÀS 10:32h	SUPERVISÃO DA ÁREA E MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	SIM

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Ação Mitigadora
DESGASTE DOS MANCAIS	ATRITO ENTRE OS MANCAIS E O EIXO	QUANTIDADE INSUFICIENTE DE LUBRIFICANTE	NÃO HOUVE RELUBRIFICAÇÃO DOS MANCAIS NO PERÍODO PRÉ DETERMINADO	-	TROCAR OS ROLAMENTOS, LUBRIFICAR COM A QUANTIDADE E O LUBRIFICANTE ADEQUADO E ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA A BOMBA

Por essa técnica, chegou-se que a causa raiz seria a falta de relubrificação dos mancais no período já pré-determinado para esta atividade e então foi criado um plano de ação 5W2H para colocar as ações mitigadoras em prática, conforme Tab. 4.6.

Tabela 4.6 - Plano de ação 5W2H para a bomba KSB RDL

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
TROCA DOS ROLAMENTOS	25/11/2017	MECÂNICOS	OFICINA MECÂNICA	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO	CONFORME INDICADO NA INSTRUÇÃO DE TRABALHO	R\$ -				X
LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS	25/11/2017	LUBRIFICADORES	OFICINA MECÂNICA	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO	CONFORME CATÁLOGO DO FABRICANTE DA BOMBA	R\$ -				X
ELABORAR PLANO DE LUBRIFICAÇÃO	ATÉ O FINAL DA SAFRA 2018/2019	ENGENHARIA E LUBRIFICADORES	NA PRÓPRIA UNIDADE	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO E EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	CONFORME ROTAS DE LUBRIFICAÇÃO E CATÁLOGOS DOS EQUIPAMENTOS	R\$ -			X	
ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA A BOMBA	ATÉ O FINAL DA SAFRA 2017/2018	PCM	NA PRÓPRIA UNIDADE	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO E EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	COM BASE EM INSTRUÇÕES DO CATÁLOGO DO FABRICANTE	R\$ -		X		

Por este plano de ação, a atividade “em andamento” encontra-se dentro do prazo para ser cumprida, e a que ainda não foi iniciada será apresentada na seção **4.2. Planos de manutenção preventiva**. O superaquecimento das bombas da torre de resfriamento também

ocorreu nos anos de 2014 e 2015, então esse caso mereceu destaque devido a importância do controle de temperatura da água para o processo de produção de etanol.

#### 4.1.3. Análise de falhas da bomba de vácuo – NASH – Linha Vectra GL

No dia 25/05/2018 às 20:05h, houve um vazamento de líquido pelo selo mecânico da bomba de vácuo da peneira molecular da destilaria. A selagem com selo não permite vazamentos, ao contrário da selagem com gaxeta, que necessita que haja um leve vazamento do líquido bombeado por ela, para fins de lubrificação e arrefecimento. O problema foi detectado por um operador da área enquanto passava pela peneira molecular. Além do vazamento, foi percebido também um elevado ruído durante a operação deste equipamento. Sendo assim, informou a situação à equipe de manutenção, que substituiu a bomba por uma reserva.

No entanto, uma análise de falhas foi necessária para compreender o ocorrido, visto que se trata do processo final da produção de etanol, onde não há a aplicação de redundância nesse equipamento, então requer um certo tempo para realizar a manobra de substituição da bomba. Além do mais, é o responsável pelo bom funcionamento das resinas que desidratam o etanol hidratado para produzir o anidro.

Primeiramente, foi feito o diagrama de Ishikawa a partir das três causas mais relevantes escolhidas pelo brainstorming seguido da multivotação, conforme Fig. 4.3.

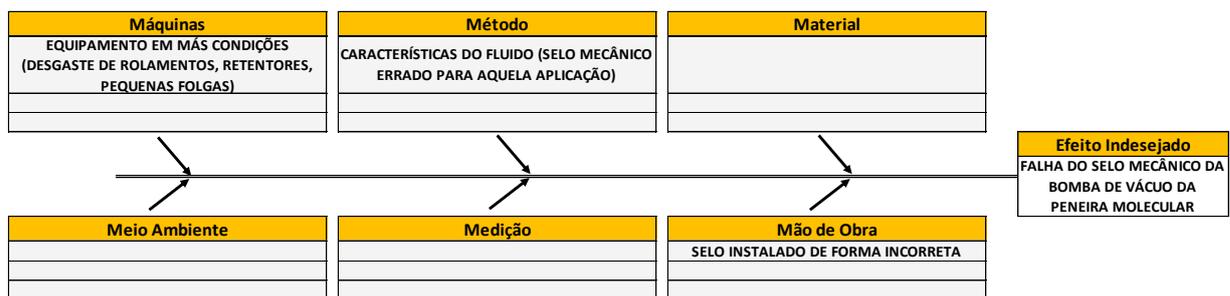


Figura 4.3 - Diagrama de Ishikawa para a bomba de vácuo

Com as causas levantadas, foi realizado o método GUT para priorização de ações, conforme representado na Tab. 4.7.

Tabela 4.7 - Método GUT aplicado para a bomba de vácuo

Causas		G	U	T	GxUxT	Priorização
1	EQUIPAMENTO EM MÁS CONDIÇÕES (DESGASTE DE ROLAMENTOS, RETENTORES, PEQUENAS FOLGAS)	5	5	4	100	1
2	CARACTERÍSTICAS DO FLUIDO (SELO MECÂNICO ERRADO PARA AQUELA APLICAÇÃO)	3	4	4	48	3
3	SELO INSTALADO DE FORMA INCORRETA	4	4	4	64	2
4					0	
5					0	
6					0	
7					0	
8					0	
9					0	
10					0	

Pontos	"G" (Gravidade)	"U" (Urgência)	"T" (Tendência)
5	Prejuízos ou Dificuldades Extremamente Graves	Necessária uma Ação Imediata	Se nada for Feito, o Agravamento será Imediato
4	Muito Graves	Com Alguma Urgência	Vai Piorar a Curto Prazo
3	Graves	O mais Ceddo Possível	Vai Piorar a Médio Prazo
2	Pouco Graves	Pode Esperar um pouco	Vai Piorar a Longo Prazo
1	Sem Gravidade	Não tem Pressa	Não vai Piorar ou Pode até Melhorar

A partir dele, foi considerada a maior criticidade para as más condições do equipamento, que foi analisada pelos cinco por quês a fim de encontrar a causa raiz e promover a discussão das ações mitigadoras. A Tab. 4.8 indica a técnica utilizada.

Tabela 4.8 - Técnica dos cinco por quês aplicado para a bomba de vácuo

Classificação do Fenômeno / Problema					
O que aconteceu?	Como aconteceu?	Onde aconteceu?	Quando aconteceu?	Quem estava envolvido?	É um fenômeno recorrente?
FALHA DO SELO MECÂNICO DA BOMBA DE VÁCUO DA PENEIRA MOLECULAR	OPERADOR DA DESTILARIA PERCEBEU VAZAMENTO DE LÍQUIDO PELO SELO MECÂNICO E UM ELEVADO RÚIDO DURANTE A OPERAÇÃO DA BOMBA	DESTILARIA	25/05/2018 ÀS 20:05h	OPERADORES E MANUTENÇÃO	NÃO

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Ação Mitigadora
EQUIPAMENTO EM MÁS CONDIÇÕES (DESGASTE DE ROLAMENTOS, RETENTORES, PEQUENAS FOLGAS)	COMPONENTES OPERANDO HÁ MUITO TEMPO SEM MANUTENÇÃO	NÃO EXISTE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O EQUIPAMENTO	-	-	TROCAR SELO MECÂNICO E DEMAIS COMPONENTES DESGASTADOS E ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O EQUIPAMENTO

A causa raiz encontrada foi a inexistência de um plano de manutenção preventiva para a bomba de vácuo em questão. Sua elaboração, juntamente com a troca dos elementos desgastados, foram as ações escolhidas para mitigar o fenômeno acontecido, organizadas no plano de ação 5W2H, na Tab. 4.9 abaixo.

Tabela 4.9 - Plano de ação 5W2H para a bomba de vácuo

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
TROCAR SELO MECÂNICO E DEMAIS COMPONENTES DESGASTADOS	25/05/2018	MECÂNICOS	OFICINA MECÂNICA	DISPONIBILIZAR O EQUIPAMENTO PARA A OPERAÇÃO	CONFORME INSTRUÇÃO DE TRABALHO	R\$ -				X
ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O EQUIPAMENTO	ATÉ O FINAL DA SAFRA	PCM	NA PRÓPRIA UNIDADE	EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	COM BASE EM INSTRUÇÕES DO CATÁLOGO DO FABRICANTE	R\$ -		X		

Por ele, pode-se perceber que a bomba foi reparada e agora está como sobressalente, pronta para ser usada caso necessário. O plano de manutenção, embora ainda esteja dentro do prazo, não foi iniciado, então será apresentado na seção **4.2. Planos de manutenção preventiva.**

É importante ressaltar que, ao conversar com mecânicos mais antigos da usina, foi descoberto que já houve problemas com os rolamentos, selos mecânicos e periféricos dessa bomba, de três a quatro vezes em cada safra, entre os anos de 2012 e 2017. Porém, nesses casos as quebras ocorreram devido a falhas estruturais do concreto responsável por seu nivelamento, as quais causavam uma enorme vibração, o que danificava os componentes. No entanto, foi solucionado na entressafra 2017/2018 ao refazer a base de concreto, então por ter sido uma falha na estrutura de concreto, o evento foi considerado como não recorrente na análise de falhas.

#### 4.1.4. Análise de falhas do redutor planetário – SEW série XP

Outro evento analisado e considerado relevante ocorreu em 12/07/2016 às 15:53h, quando ocorreu o desarme do redutor planetário do lado direito do rolo superior da moenda secadora. Na ocasião, a moenda e, conseqüentemente, todo o processo de produção de etanol foram desarmados, ou seja, foi uma falha consideravelmente crítica para a usina. Vale ressaltar que a geração de energia não parou devido à utilização do estoque de biomassa, matéria prima estocada para ser usada nessas ocasiões.

Dadas as circunstâncias, foi realizada a análise de falhas conforme o modelo padrão, a partir da reunião da equipe de engenharia, iniciada com brainstorming e multivotação. O diagrama de espinha de peixe foi composto pelas três causas mais relevantes.

Sendo assim, a presente análise foi necessária para compreender o ocorrido e evitar que ele venha a se repetir. A Fig. 4.4 ilustra o diagrama de Ishikawa usado para o redutor planetário.

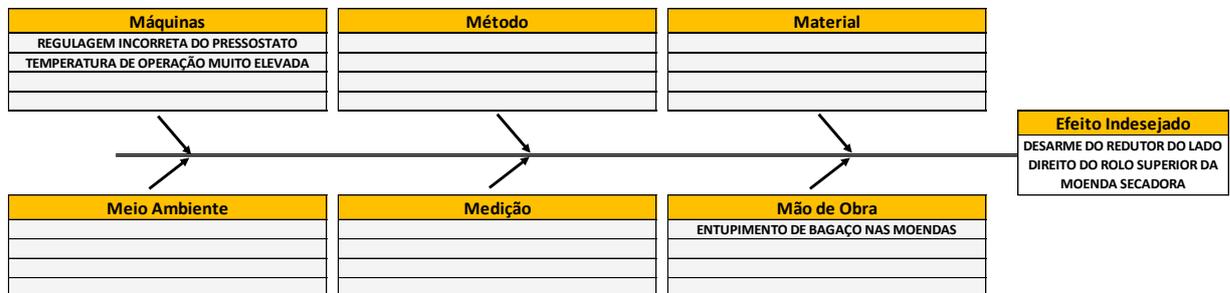


Figura 4.4 - Diagrama de Ishikawa para o redutor planetário

Posteriormente, as ações foram priorizadas a partir da aplicação do método GUT, conforme Tab. 4.10.

Tabela 4.10 - Método GUT aplicado para o redutor planetário

Causas		G	U	T	GxUxT	Priorização
1	REGULAGEM INCORRETA DO PRESSOSTATO	3	5	3	45	3
2	ENTUPIMENTO DE BAGAÇO NAS MOENDAS	4	5	4	80	2
3	TEMPERATURA DE OPERAÇÃO MUITO ELEVADA	4	5	5	100	1
4					0	
5					0	
6					0	
7					0	
8					0	
9					0	
10					0	

Pontos	"G" (Gravidade)	"U" (Urgência)	"T" (Tendência)
5	Prejuízos ou Dificuldades Extremamente Graves	Necessária uma Ação Imediata	Se nada for Feito, o Agravamento será Imediato
4	Muito Graves	Com Alguma Urgência	Vai Piorar a Curto Prazo
3	Graves	O mais Ceddo Possível	Vai Piorar a Médio Prazo
2	Pouco Graves	Pode Esperar um pouco	Vai Piorar a Longo Prazo
1	Sem Gravidade	Não tem Pressa	Não vai Piorar ou Pode até Melhorar

Pelo método, a causa considerada mais crítica foi a elevada temperatura de operação do redutor, então foi executado a técnica dos cinco por quês sobre ela e discutido as ações mitigadoras, conforme Tab. 4.11.

Tabela 4.11 - Técnica dos cinco por quês aplicada para o redutor planetário

Classificação do Fenômeno / Problema					
O que aconteceu?	Como aconteceu?	Onde aconteceu?	Quando aconteceu?	Quem estava envolvido?	É um fenômeno recorrente?
DESARME DO REDUTOR DO LADO DIREITO DO ROLO SUPERIOR DA MOENDA SECADORA	A TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DO REDUTOR AUMENTOU, OCASIONANDO O SEU DESARME DEVIDO A REDUÇÃO DA VISCOSIDADE DO ÓLEO, DESARMANDO A MOENDA	MOENDA SECADORA	12/07/16 ÀS 15:53h	SUPERVISÃO DA ÁREA E MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	NÃO

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Ação Mitigadora
AUMENTO DA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	ÓLEO MUITO VELHO E CONTAMINADO	NÃO FOI FEITA A TROCA DO ÓLEO NO PERÍODO NECESSÁRIO	NÃO HAVIA PLANO DE MANUTENÇÃO DO REDUTOR	-	TROCAR O ÓLEO DO REDUTOR E ELABORAR PLANO DE LUBRIFICAÇÃO E DE MANUTENÇÃO PARA O REDUTOR

A causa raiz encontrada foi a inexistência de um plano de manutenção para o redutor e suas ações foram organizadas em um plano de ação 5W2H, como segue na Tab. 4.12.

Tabela 4.12 - Plano de ação 5W2H para o redutor planetário

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito?	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
TROCAR O ÓLEO DO REDUTOR	12/07/2016	LUBRIFICADORES	MOENDA SECADORA	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO	CONFORME CATÁLOGO DO FABRICANTE DO REDUTOR	R\$ -				X
ELABORAR PLANO DE LUBRIFICAÇÃO	ATÉ O FINAL DA SAFRA 2016/2017	ENGENHARIA E LUBRIFICADORES	NA PRÓPRIA UNIDADE	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO E EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	CONFORME ROTAS DE LUBRIFICAÇÃO E CATÁLOGOS DOS EQUIPAMENTOS	R\$ -			X	
ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PARA O REDUTOR	ATÉ O FINAL DA SAFRA 2016/2017	ENGENHARIA	NA PRÓPRIA UNIDADE	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO E EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	COM BASE EM INSTRUÇÕES DO CATÁLOGO DO FABRICANTE	R\$ -		X		

Ao analisar o plano de ação, percebe-se que o plano de lubrificação, embora ainda não esteja concluído, foi iniciado e está sendo elaborado. Entretanto, o plano de manutenção não havia sido sequer começado. O mesmo será apresentado na seção **4.2. Planos de manutenção preventiva**.

O fenômeno foi considerado como não recorrente pois os demais desarmes ocorridos em redutores planetários da planta foram devidos a falta de confiabilidade do equipamento, antes adquirido de outro fabricante.

#### 4.1.5. Análise de falhas do redutor de engrenagens cônicas compacto – SEW série MC

No dia 20/08/2015, às 23:36, foi desarmada a esteira de borracha EB-7603 de elevação de bagaço. Sua função é de receber o bagaço da esteira da saída da moenda e transportá-lo para a esteira alimentadora de bagaço das caldeiras. Consequentemente, todo o processo de produção de etanol foi paralisado, então essa também foi uma falha consideravelmente crítica para a usina. Por desarmar toda a produção de etanol, foi percebida por todos no mesmo instante em que ocorreu. Vale ressaltar que, assim como no caso anterior, a geração de energia não parou devido à utilização do estoque de biomassa para alimentar a caldeira, matéria prima estocada para ser usada nessas ocasiões.

Primeiramente, foi feito o diagrama de Ishikawa a partir das quatro causas mais relevantes para o desarme da esteira, escolhidas pelo brainstorming seguido da multivotação. O diagrama é representado na Fig. 4.5.



Figura 4.5 - Diagrama de Ishikawa para o redutor de engrenagens cônicas

Com as causas levantadas, foi realizado o método GUT para priorização de ações, conforme Tab. 4.13.

Tabela 4.13 - Método GUT aplicado para o redutor de engrenagens cônicas

Causas		G	U	T	GxUxT	Priorização
1	FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA	4	4	4	64	1
2	ESPALHADOR DE BAGAÇO MAL POSICIONADO	3	3	3	27	4
3	DESGASTE DO ROLO ESTICADOR DA ESTEIRA	4	3	3	36	3
4	OPERAÇÃO DA ESTEIRA COM CARGA ACIMA DA NOMINAL	3	4	3	36	2
5					0	
6					0	
7					0	
8					0	
9					0	
10					0	

Pontos	"G" (Gravidade)	"U" (Urgência)	"T" (Tendência)
5	Prejuízos ou Dificuldades Extremamente Graves	Necessária uma Ação Imediata	Se nada for Feito, o Agravamento será Imediato
4	Muito Graves	Com Alguma Urgência	Vai Piorar a Curto Prazo
3	Graves	O mais Ceddo Possível	Vai Piorar a Médio Prazo
2	Pouco Graves	Pode Esperar um pouco	Vai Piorar a Longo Prazo
1	Sem Gravidade	Não tem Pressa	Não vai Piorar ou Pode até Melhorar

A partir dele, a ocorrência de falha no redutor da esteira foi considerada a causa mais crítica, que foi analisada pelos cinco por quês a fim de encontrar a causa raiz e promover a discussão das ações mitigadoras. A técnica é representada pela Tab. 4.14 abaixo.

Tabela 4.14 - Técnica dos cinco por quês aplicada para o redutor de engrenagens cônicas

Classificação do Fenômeno / Problema					
O que aconteceu?	Como aconteceu?	Onde aconteceu?	Quando aconteceu?	Quem estava envolvido?	É um fenômeno recorrente?
DESARME DA ESTEIRA DE ELEVAÇÃO DE BAGAÇO EB-7603	OCORREU FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA, OCASIONANDO O SEU DESARME, E, CONSEQUENTEMENTE, DESARMANDO A MOENDA E O DIFUSOR	ESTEIRA DE BORRACHA EB-7603	20/08/2015 ÀS 23:36	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	NÃO

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Ação Mitigadora
FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA	QUEBRA DO ROLAMENTO	ROLAMENTO MUITO DESGASTADO	FALTA DE INSPEÇÃO	-	TROCAR OS ROLAMENTOS E POSSÍVEIS PEÇAS DESGASTADAS E ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O REDUTOR
FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA	QUEBRA DO ROLAMENTO	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NÃO DETECTOU FALHA NO ROLAMENTO DURANTE SUA OPERAÇÃO	-	-	ACIONAR O PARCEIRO PARA QUE REDUZA O INTERVALO DE DIAS ENTRE SUAS ROTAS

Para este caso, ao iniciar a terceira iteração de perguntas, foram identificadas duas possíveis respostas: desgaste dos rolamentos ou não detecção pela análise de vibrações. Neste caso, recomenda-se que sejam separadas e tratadas as duas causas encontradas, conforme foi realizado. A causa raiz para o primeiro caso foi a falta de manutenção e inspeção do equipamento, enquanto que a do segundo foi a citada. Suas ações mitigatórias foram organizadas separadamente no plano de ação 5W2H, na Tab. 4.15 a seguir.

Tabela 4.15 - Plano de ação 5W2H para o redutor de engrenagens cônicas

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
TROCAR OS ROLAMENTOS E POSSÍVEIS PEÇAS DESGASTADAS	21/08/2015	MECÂNICOS	OFICINA MECÂNICA	DISPONIBILIZAR O EQUIPAMENTO PARA OPERAR	CONFORME INSTRUÇÃO DE TRABALHO	R\$ -				X
ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O REDUTOR	ATÉ O FINAL DA SAFRA	PCM	NA PRÓPRIA UNIDADE	EVITAR QUE OCORRAM NOVAS FALHAS	COM BASE EM INSTRUÇÕES DO CATÁLOGO DO FABRICANTE	R\$ -		X		
ACIONAR O PARCEIRO PARA QUE REDUZA O INTERVALO DE DIAS ENTRE SUAS ROTAS	O QUANTO ANTES	ENGENHARIA	NA PRÓPRIA UNIDADE	MELHORAR A DETECÇÃO DE FALHAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	REUNIÃO COM PARCEIRO	R\$ -				X

Dentre as ações propostas, a única ainda não realizada, ou melhor, não iniciada, havia sido a elaboração do plano de manutenção preventiva para o redutor, o qual será apresentado na seção **4.2. Planos de manutenção preventiva**.

O fenômeno foi considerado como não recorrente pois os demais desarmes ocorridos em redutores de engrenagens cônicas da planta foram devidos a outros motivos.

#### 4.1.6. Análise de falhas do redutor helicoidal robusto – SEW série X

A última análise de falhas estudada foi o desarme da esteira metálica EM-7605 ocorrida no dia 30/06/2018 às 6:41h. A paralização dessa esteira parou não somente o processo de produção de etanol como também o de geração de energia, já que se trata da esteira alimentadora de bagaço das caldeiras. Então, nesse caso, houve a paralização geral dos serviços, o que representa, dentre as análises de falhas, a mais onerosa para a empresa.

Ao reunir a equipe, foram realizados o brainstorming, seguido de multivotação. As três regras consideradas mais relevantes foram posicionadas no diagrama de Ishikawa, conforme Fig. 4.6 abaixo.



Figura 4.6 - Diagrama de Ishikawa para o redutor helicoidal

A partir desse levantamento, com o intuito de priorizar as ações a serem executadas foi adotado o método GUT, conforme Tab. 4.16.

Tabela 4.16 - Método GUT aplicado para o redutor helicoidal

Causas		G	U	T	GxUxT	Priorização
1	DESVIADOR DE BAGAÇO MAL POSICIONADO TRAVOU AS TALISCAS DA ESTEIRA	3	3	3	27	3
2	FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA	4	5	5	100	1
3	OPERAÇÃO DA ESTEIRA COM CARGA ACIMA DA NOMINAL	4	4	4	64	2
4					0	
5					0	
6					0	
7					0	
8					0	
9					0	
10					0	

Pontos	"G" (Gravidade)	"U" (Urgência)	"T" (Tendência)
5	Prejuizos ou Dificuldades Extremamente Graves	Necessária uma Ação Imediata	Se nada for Feito, o Agravamento será Imediato
4	Muito Graves	Com Alguma Urgência	Vai Piorar a Curto Prazo
3	Graves	O mais Ceddo Possível	Vai Piorar a Médio Prazo
2	Pouco Graves	Pode Esperar um pouco	Vai Piorar a Longo Prazo
1	Sem Gravidade	Não tem Pressa	Não vai Piorar ou Pode até Melhorar

Ao analisar a matriz, a causa constatada como sendo a mais crítica foi uma falha ocorrida no redutor da esteira metálica. Portanto, foi realizada a técnica dos cinco por quês para descobrir sua causa raiz e definir as ações mitigadoras, conforme Tab. 4.17.

Tabela 4.17 - Técnica dos cinco por quês aplicada ao redutor helicoidal

O que aconteceu?	Como aconteceu?	Onde aconteceu?	Quando aconteceu?	Quem estava envolvido?	É um fenômeno recorrente?
DESARME DA ESTEIRA DE ALIMENTAÇÃO DE BAGAÇO DAS CALDEIRAS EM 7605	OCORREU FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA, OCASIONANDO O SEU DESARME E ACARRETANDO NO DESARME DA MOENDA E DO DIFUSOR	ESTEIRA EM-7605	30/06/2018 ÀS 6:41h	SUPERVISÃO E OPERADORES DA ÁREA	NÃO

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Ação Mitigadora
FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA	QUEBRA DO ROLAMENTO	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NÃO DETECTOU FALHA NO ROLAMENTO DURANTE SUA OPERAÇÃO	-	-	ACIONAR O PARCEIRO PARA QUE REDUZA O INTERVALO DE DIAS ENTRE SUAS ROTAS
FALHA NO REDUTOR DA ESTEIRA	QUEBRA DO ROLAMENTO	ROLAMENTO OPERANDO ALÉM DO INDICADO PELO FABRICANTE	NÃO FOI FEITA MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO NA ENTRESSAFRA	-	TROCAR ROLAMENTOS E POSSÍVEIS PEÇAS AVARIADAS E ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O REDUTOR

Assim como na análise apresentada previamente, ao chegar na terceira iteração foram obtidas diferentes respostas, tratadas separadamente. Dessa forma, uma opção de causa raiz seria a não detecção de falha pela análise de vibrações, enquanto que a outra seria a não realização da manutenção do equipamento na entressafra.

Para cada caso foram estipuladas suas ações mitigadoras, organizadas em um plano de ação 5W2H, conforme Tab. 4.18.

Tabela 4.18 - Plano de ação 5W2H para o redutor helicoidal

WHAT O que será feito?	WHEN Quando será feito?	WHO Quem fará?	WHERE Onde será feito?	WHY Porque será feito?	HOW Como será feito	HOW MUCH Quanto custará?	Status			
							Em Atraso	Não Iniciado	Em Andamento	Concluído
ACIONAR O PARCEIRO PARA QUE REDUZA O INTERVALO DE DIAS ENTRE SUAS ROTAS	O QUANTO ANTES	ENGENHARIA	NA PRÓPRIA UNIDADE	MELHORAR A DETECÇÃO DE FALHAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	REUNIÃO COM PARCEIRO	R\$ -				X
ELABORAR PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O REDUTOR	ATÉ O FINAL DA SAFRA	PCM	NA PRÓPRIA UNIDADE	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO E EVITAR QUE NOVAS FALHAS OCORRAM	COM BASE EM INSTRUÇÕES DO CATÁLOGO DO FABRICANTE	R\$ -		X		
TROCAR ROLAMENTOS E POSSÍVEIS PEÇAS AVARIADAS	30/06/2018	MECÂNICOS	OFICINA MECÂNICA	GARANTIR A DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO	CONFORME INDICADO NA INSTRUÇÃO DE TRABALHO	R\$ -				X

Ao analisar o plano de ação, foi possível perceber que a atividade pendente, assim como nos demais casos, foi a elaboração do plano de manutenção preventiva para o equipamento, embora esta ainda esteja dentro do prazo estipulado. Será apresentado na seção **4.2. Planos de manutenção preventiva** juntamente com os dos demais equipamentos.

Embora tenham ocorrido outros casos em que a esteira alimentadora de bagaço foi desarmada, a presente análise foi considerada como não recorrente porque as demais possuíram causas distintas.

#### **4.2. Planos de manutenção preventiva**

Ao realizar todas as atividades acima e obter um histórico dos principais eventos ocorridos entre os anos analisados, foi possível elaborar os planos de manutenção preventiva para os equipamentos em questão. Isso permitiu concluir os planos de ação 5W2H iniciados, além de minimizar as falhas por desgaste ou falta de lubrificação dos componentes das máquinas.

O objetivo foi de aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir os custos devido a quebras ou falhas durante a operação dos mesmos no período de safra. Para que seja alcançado, é importante que a periodicidade das inspeções seja seguida de forma correta.

Além disso, como há a presença de lubrificadores com rotas pré-definidas e inspetor encarregado de executar análises de vibrações nos equipamentos, é essencial que suas informações sejam compartilhadas a fim de complementarem umas às outras e garantir maior assertividade no que diz respeito à detecção de falhas.

Outros pontos considerados para elaborar os planos de manutenção dos equipamentos analisados foram:

- O excesso de paradas para a execução de serviços de manutenção gera custos para a usina devido a paradas na produção;
- A produção de etanol é sazonal, ou seja, existe um período de três a quatro meses denominado entressafra destinado a executar serviços mais severos e minuciosos de manutenção, os quais já são planejados pela empresa;
- Existem equipamentos que possuem um outro como reserva, não instalado na linha como redundância, apenas armazenado em estoque de sobressalentes;
- Existem equipamentos que possuem um outro, de mesmo modelo, já instalado na linha, como uma redundância;

- Existem equipamentos que não possuem nenhuma das duas últimas situações descritas acima, sendo, portanto, críticos caso parem de funcionar por serem únicos na planta.

Baseado nessas informações, foi proposto planejar uma parada programada por mês para executar serviços mais críticos e demorados em equipamentos que não possuem nenhum outro como reserva.

Os planos de manutenção e os cuidados específicos para cada caso estão apresentados abaixo.

#### *4.2.1. Plano de manutenção para bomba centrífuga radial – EQUIPE – EQP*

Há duas unidades dessa bomba operando em redundância. Dessa forma, é possível executar os serviços planejados em uma enquanto a outra opera sem ocasionar em paradas na produção.

As análises de vibração devem ser realizadas periodicamente e seus relatórios entregues para monitorar o estado do equipamento.

Os intervalos de manutenção foram divididos em mensal, semestral e anual, como segue na Tab. 4.19 abaixo.

Tabela 4.19 - Plano de manutenção para a bomba EQP

PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA		
EQUIPAMENTO		
BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL EQUIPE - EQP		
ITEM	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS	PERIODICIDADE
1	Verificar nível de óleo. Completar se necessário	Mensal
2	Verificar vazamento das gaxetas. Apertar ou afrouxar seu aperto conforme necessário	Mensal
3	Verificar alinhamento entre bomba e acionador. Realinhar se necessário	Semestral
4	Inspecionar protetor de acoplamento. Substituir se necessário	Semestral
5	Verificar aperto dos parafusos de fixação da bomba, do acionador e da base. Apertar se necessário	Semestral
6	Verificar lubrificação do acoplamento. Lubrificar se necessário	Semestral
7	Substituir o engaxetamento se necessário	Semestral
8	Verificar desgaste dos mancais. Substituir se necessário	Anual
9	Verificar desgaste dos retentores. Substituir se necessário	Anual
10	Verificar desgaste das juntas. Substituir se necessário	Anual
11	Verificar desgaste dos O'Rings. Substituir se necessário	Anual
12	Verificar desgaste do rotor. Substituir se necessário	Anual
13	Verificar desgaste do eixo. Substituir se necessário	Anual
14	Verificar desgaste e espessura das regiões internas do corpo espiral. Substituir se necessário	Anual
15	Verificar desgaste da luva protetora do eixo. Substituir se necessário	Anual
16	Verificar desgaste da sobreposta. Substituir se necessário	Anual

#### 4.2.2. Plano de manutenção para bomba centrífuga bipartida axialmente – KSB RDL

Há sete unidades dessa bomba instaladas, com seis operando e uma reserva como redundância. Isso faz com que seja possível revezar o funcionamento das mesmas a fim de executar os serviços sem prejudicar a produção.

As análises de vibração devem ser realizadas periodicamente e seus relatórios entregues para monitorar o estado do equipamento.

Os intervalos de manutenção foram divididos em mensal, semestral e anual, como segue na Tab. 4.20 abaixo.

Tabela 4.20 - Plano de manutenção para bomba KSB RDL

PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA		
EQUIPAMENTO		
BOMBA BIPARTIDA AXIALMENTE - KSB RDL		
ITEM	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS	PERIODICIDADE
1	Inspecionar o estado do componente elástico do acoplamento. Substituir se necessário	Mensal
2	Substituir anéis de desgaste	Mensal
3	Verificar alinhamento entre bomba e acionador. Realinhar se necessário	Mensal
4	Inspecionar protetor de acoplamento. Substituir se necessário	Mensal
5	Verificar desgaste dos anéis de vedação. Substituir se necessário	Mensal
6	Verificar desgaste dos anéis "O", o-ring e anel labirinto. Substituir se necessário.	Mensal
7	Verificar desgaste da gaxeta e apertada gaxeta. Substituir se necessário	Mensal
8	Verificar nível de óleo nos mancais. Completar se necessário.	Mensal
9	Verificar desgaste dos parafusos, prisioneiros, bujões, pinos e porcas. Substituir se necessário.	Mensal
10	Verificar desgaste da chaveta. Substituir se necessário.	Mensal
11	Verificar folga de vedação entre rotor e anel de desgaste. Substituir anel de desgaste ou anel do rotor se necessário.	Semestral
12	Lubrificar mancais.	Semestral
13	Verificar desgaste da luva protetora do eixo. Substituir se necessário	Semestral
14	Verificar desgaste da luva distanciadora. Substituir se necessário	Semestral
15	Verificar desgaste do copo de ressuprimento automático. Substituir se necessário.	Semestral
16	Verificar desgaste dos rolamentos. Substituir se necessário	Anual
17	Verificar desgaste do rotor. Substituir se necessário	Anual
18	Verificar desgaste do eixo. Substituir se necessário	Anual
19	Verificar desgaste do corpo. Substituir se necessário	Anual

#### 4.2.3. Plano de manutenção para bomba de vácuo – NASH – Linha Vectra GL

Há duas unidades dessa bomba, sendo uma em operação e outra como estoque, sobressalente.

Para executar qualquer serviço de manutenção, todas as ferramentas necessárias devem ser previamente separadas enquanto ela ainda está em operação, e, caso o serviço seja mais demorado, a outra unidade deve estar previamente pronta e ser levada ao local para substituir a primeira, no momento imediato em que essa for retirada. O intuito é de reduzir o desperdício quanto ao tempo de troca de ferramentas e devido a deslocamentos excessivos.

As análises de vibração devem ser realizadas periodicamente e seus relatórios entregues para monitorar o estado do equipamento.

Os intervalos de manutenção foram divididos em mensal, semestral e anual, como segue na Tab. 4.21 abaixo.

Tabela 4.21 - Plano de manutenção para a bomba de vácuo

<b>PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA</b>		
<b>EQUIPAMENTO</b>		
<b>BOMBA DE VÁCUO - NASH - LINHA VECTRA GL</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS</b>	<b>PERIODICIDADE</b>
1	Verificar alinhamento da bomba. Realinhar se necessário	Mensal
2	Substituir retentores	Mensal
3	Substituir junta da tampa externa do lado acionado	Mensal
4	Substituir junta do cone	Mensal
5	Substituir juntas dos rolamentos	Mensal
6	Verificar desgaste da chaveta. Substituir se necessário	Mensal
7	Verificar desgaste dos parafusos da tampa externa. Substituir se necessário.	Mensal
8	Verificar desgaste dos bujões. Substituir se necessário.	Mensal
9	Verificar desgaste da tampa externa. Substituir se necessário	Mensal
10	Verificar desgaste de parafusos, bujões e arruelas. Substituir se necessário	Mensal
11	Verificar desgaste dos calços. Substituir se necessário	Semestral
12	Lubrificar acoplamento	Semestral
13	Lubrificar mancais da bomba	Semestral
14	Lubrificar mancais do motor	Semestral
15	Verificar a tensão e o desgaste das correias. Substituir se necessário.	Semestral
16	Substituir tirantes	Semestral
17	Verificar desgaste da válvula de retenção de esfera e de todos os seus componentes. Substituir se necessário.	Semestral
18	Verificar desgaste dos rolamentos. Substituir se necessário	Anual
19	Lubrificar os rolamentos	Anual
20	Verificar desgaste do eixo. Substituir se necessário	Anual
21	Verificar desgaste do rotor. Substituir se necessário	Anual
22	Verificar o desgaste dos selos mecânicos. Substituir se necessário	Anual

#### 4.2.4. Plano de manutenção para redutor planetário – SEW série XP

Não há nenhum redutor desse modelo como reserva, então seus serviços devem ser executados em paradas programadas mensalmente, juntamente com outros serviços críticos necessários.

As análises de vibração devem ser realizadas periodicamente e seus relatórios entregues para monitorar o estado do equipamento.

Os intervalos de manutenção foram divididos em mensal, semestral e anual, como segue na Tab. 4.22 abaixo.

Tabela 4.22 - Plano de manutenção para o redutor planetário

PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA		
EQUIPAMENTO		
REDUTOR PLANETÁRIO SEW - SÉRIE XP		
ITEM	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS	PERIODICIDADE
1	Verificar nível de óleo. Completar se necessário	Mensal
2	Substituir anéis de retenção	Mensal
3	Substituir retentores	Mensal
4	Substituir arruelas de ajuste	Mensal
5	Substituir vedação da tampa	Mensal
6	Verificar a qualidade do óleo. Trocar se necessário.	Semestral
7	Abastecer de graxa os sistemas de vedação relubrificáveis	Semestral
8	Verificar desgaste das chavetas. Substituir se necessário	Semestral
9	Verificar aperto dos parafusos de fixação. Apertar se necessário	Semestral
10	Limpar o filtro de óleo. Se necessário, substituir o elemento filtrante	Anual
11	Verificar o respiro e substituí-lo, se necessário	Anual
12	Verificar alinhamento no eixo de entrada e de saída. Realinhar se necessário.	Anual
13	Verificar desgaste do eixo. Substituir se necessário	Anual
14	Verificar desgaste dos rolamentos. Substituir se necessário	Anual
15	Verificar desgaste das engrenagens planetárias. Substituir se necessário	Anual

#### 4.2.5. Plano de manutenção para redutor de engrenagens cônicas compacto – SEW série MC

Esse redutor também não possui outro como reserva, então seus serviços devem ser executados em paradas programadas mensalmente, juntamente com outros serviços críticos necessários.

As análises de vibração devem ser realizadas periodicamente e seus relatórios entregues para monitorar o estado do equipamento.

Os intervalos de manutenção foram divididos em mensal, semestral e anual, como segue na Tab. 4.23 abaixo.

Tabela 4.23 - Plano de manutenção para o redutor de engrenagens cônicas

PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA		
EQUIPAMENTO		
REDUTOR DE ENGENHAGENS CÔNICAS COMPACTO SEW - SÉRIE MC		
ITEM	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS	PERIODICIDADE
1	Verificar nível de óleo. Completar se necessário	Mensal
2	Substituir anéis de retenção	Mensal
3	Substituir retentores	Mensal
4	Substituir arruelas de ajuste	Mensal
5	Substituir vedação da tampa	Mensal
6	Verificar desgaste das tampas de inspeção, de entrada e dos mancais. Substituir se necessário	Mensal
7	Verificar qualidade do óleo. Substituir se necessário.	Semestral
8	Preencher vedação do tipo labirinto com graxa.	Semestral
9	Limpar o respiro	Semestral
10	Reengraxar os rolamentos inferiores do eixo de saída	Semestral
11	Verificar desgaste das chavetas. Substituir se necessário	Semestral
12	Verificar desgaste das buchas dos rolamentos. Substituir se necessário	Semestral
13	Verificar alinhamento no eixo de entrada e de saída. Realinhar se necessário	Semestral
14	Verificar desgaste do tubo distanciador. Substituir se necessário	Semestral
15	Trocar o óleo mineral	Anual
16	Verificar aperto dos parafusos de retenção	Anual
17	Verificar contaminação e a condição do sistema de trocador de calor óleo/ar. Limpar se necessário.	Anual
18	Verificar condição do trocador de calor óleo/água. Limpar se necessário.	Anual
19	Limpar o filtro de óleo e substituir o elemento do filtro, se necessário	Anual
20	Verificar desgaste das engrenagens. Substituir se necessário	Anual
21	Verificar desgaste da carcaça do redutor. Substituir se necessário	Anual
22	Verificar desgaste dos eixos de entrada e de saída. Substituir se necessário	Anual

#### 4.2.6. Plano de manutenção para redutor de eixos helicoidal robusto – SEW série X

Esse redutor, assim como os demais analisados, não possui outro como reserva, então seus serviços devem ser executados em paradas programadas mensalmente, juntamente com outros serviços críticos necessários.

As análises de vibração devem ser realizadas periodicamente e seus relatórios entregues para monitorar o estado do equipamento.

Os intervalos de manutenção foram divididos em mensal, semestral e anual, como segue na Tab. 4.24 abaixo.

Tabela 4.24 - Plano de manutenção para o redutor helicoidal

<b>PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA</b>		
<b>EQUIPAMENTO</b>		
<b>REDUTOR HELICOIDAL ROBUSTO SEW - SÉRIE X</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS</b>	<b>PERIODICIDADE</b>
1	Verificar nível de óleo. Completar se necessário	Mensal
2	Substituir anéis de retenção	Mensal
3	Substituir retentores	Mensal
4	Substituir arruelas de ajuste	Mensal
5	Substituir vedação das tampas	Mensal
6	Verificar desgaste das tampas de inspeção, de entrada e dos mancais. Substituir se necessário	Mensal
7	Verificar desgaste e contaminação do niple de lubrificação. Substituir e/ou limpar se necessário	Mensal
8	Verificar qualidade do óleo. Substituir se necessário.	Semestral
9	Abastecer de graxa os sistemas de vedação relubrificáveis	Semestral
10	Verificar alinhamento no eixo de entrada e de saída. Realinhar se necessário	Semestral
11	Verificar o bujão de respiro. Se necessário trocar.	Semestral
12	Verificar desgaste das chavetas. Substituir se necessário	Semestral
13	Verificar desgaste das buchas dos rolamentos. Substituir se necessário	Semestral
14	Verificar desgaste do tubo distanciador. Substituir se necessário	Semestral
15	Trocar o óleo mineral	Anual
16	Verificar aperto dos parafusos de fixação	Anual
17	Verificar desgaste das engrenagens. Substituir se necessário	Anual
18	Verificar desgaste da carcaça do redutor. Substituir se necessário	Anual
19	Verificar o estado da refrigeração por óleo/água	Anual
20	Limpar o filtro de óleo e substituir o elemento filtrante, se necessário	Anual
21	Verificar desgaste dos eixos de entrada e de saída. Substituir se necessário	Anual
22	Verificar desgaste dos rolamentos. Substituir se necessário	Anual

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSÕES**

O setor sucroalcooleiro ainda é muito carente no que diz respeito a uma manutenção planejada de qualidade. Analisando especificamente a usina em questão, a quantidade de manutenções corretivas supera em muito as preventivas (praticamente inexistentes).

Ao estar inserido nessa realidade, foi possível perceber o grande desafio que a unidade tem de encontrar o equilíbrio entre as áreas agrícola, automotiva e industrial. A operação ideal seria aquela na qual as três estivessem operando juntas e parassem juntas, para que a produtividade e disponibilidade de uma não coincidisse com um momento de parada da outra, o que ainda continuará sendo um dos objetivos a serem alcançados nos próximos anos.

Neste trabalho foram realizadas as etapas desde o levantamento de problemas ocorridos por quebras em alguns equipamentos até a elaboração de planos de manutenção preventiva para os mesmos. O foco do estudo foi uma usina situada na cidade de Costa Rica, estado do Mato Grosso do Sul, que está em operação desde 2011, sendo, portanto, recente no mercado frente às maiores.

Primeiramente foram selecionados alguns equipamentos considerados importantes para o processo, devido a função que desempenham ou por serem únicos não tendo outro por redundância, isto é, críticos caso quebrassem. A partir daí foi levantado um histórico de cada um entre os anos de 2014 e 2018 e solicitado as análises de falhas realizadas pela empresa. Para esta atividade, os integrantes utilizaram ferramentas de Lean Manufacturing e Seis Sigma

capazes de ajudar na detecção das causas raiz das falhas e direcionar para uma boa solução dos problemas.

Pela metodologia proposta foi possível compreender os problemas repetitivos que ocorriam na usina em estudo através da detecção das causas raiz. Além disso, foi possível perceber que, embora fossem elaboradas as análises de falhas através do uso de ótimas ferramentas de gestão, essas não conseguiam obter os resultados esperados pois os planos de ação não eram acompanhados, o que fez com que não fossem concluídos, tarefa que deveria ser o primeiro passo para um bom planejamento.

Entretanto, apesar de estimar uma melhoria na disponibilidade dos equipamentos ao direcionar as ações para mitigar as causas raiz e reduzir os custos com manutenção corretiva não planejada, não foi possível mensurar os custos que seriam economizados com estas atividades, pois um fator importante para mensurar esse dado é o tempo no qual a planta ficou parada sem produzir enquanto determinada manutenção fosse realizada. E esse tempo não foi contabilizado nos momentos em que a usina parou por quebra nesses últimos anos.

Outra observação é que o apoio por parte das equipes de lubrificação e análise de vibrações é muito importante para a equipe de manutenção preventiva, visto que os trabalhos feitos entre todos eles se complementam, o que garante uma maior assertividade na detecção das falhas e na seleção das datas destinadas para as paradas programadas.

Com isso, foi sugerido a todos os operadores que eles consigam ter um melhor controle, de agora para frente, do intervalo de tempo em que os equipamentos de determinada área fiquem parados aguardando que os reparos sejam executados. Dessa forma será possível não só calcular os custos envolvidos no conserto dos equipamentos, como também obter o valor que a planta deixaria de lucrar enquanto está parada.

Portanto, recomenda-se que esse trabalho seja continuado e ampliado para todos os equipamentos da indústria, a fim de obter um mapeamento completo e preciso sobre a disponibilidade e os custos, o que permitirá, posteriormente, realizar melhorias contínuas na metodologia proposta.

## **CAPÍTULO VI**

### **REFERÊNCIAS**

BARJA, G. J. A. A cogeração e sua inserção no sistema elétrico. 2006. 157f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

BRITO, J. N. Desenvolvimento de um sistema inteligente híbrido para diagnóstico de falhas em motores de indução trifásicos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Termodinâmica, 5a edição. 2007.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. Tecnologia e Fabricação do Álcool. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012 74p. : il.

COMITTI, A. Por que Investir em Manutenção Preditiva, Revista Mecatrônica Atual, 2004.

COSTA, M. H. A. A. P. Viabilidade de Sistemas de Cogeração em Indústria Química. In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (ENCIT), 1998, Rio de Janeiro, Anais... v. a, p358-363. Rio de Janeiro, 1998.

DANTAS, D. N. Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista. Dissertação de mestrado acadêmico. Universidade São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 2010.

EPE [Empresa De Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2015.

GRANBIO. Perguntas e Respostas. 2017a. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/perguntas-e-respostas/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

GRANBIO. O que é Cana-Energia? 2017b. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

INSTITUTO EUVALDO LODI. Álcool Combustível. Série Indústria em Perspectiva – Brasília: IEL/NC, 2008. 163f.

KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

NOVA CANA. Processos de fabricação do etanol. 2017. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

OGATA, B.H. Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias. Tese de mestrado, Universidade de São Paulo, 2013.

PELLEGRINI, L. F. Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

RAMOS, R. A. V., MAIA, C. R. M., GASCHÉ, J. L., UCHÔA, T. B., BRANCO, F. P., FIOMARI, M. C., TAKAKI, A. T. Análise energética e exérgica de uma usina sucroalcooleira com sistema de cogeração de energia em expansão. In: V Congresso Latino americano de Geração e transmissão de energia elétrica, 2003. São Pedro. Anais..., São Pedro, SP, 2003.

RODRIGUES, C. D. Características e composição tecnológica da cana-de-açúcar. 2015. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAag73QAG/01-caracteristicas-cana-acucar>>. Acesso em: 2 dez, 2018.

SCHIMELMITZ, R; KUHN, S, L; JELINEK, A, J; RONEN, A; CLARK, A, E; WEINSTEIN-EVRON, M. ‘Fire at will’: the emergence of habitual fire use 350,000 years ago. *Journal of Human Evolution*. 77, 196-203, out, 2014.

SCHIRMER, F. Comparação de indicadores de eficiência energética e exérgica em duas indústrias do setor sucroalcooleiro. 2006. 88f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2006.

VIEIRA, S.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. Estudo de sistemas de cogeração e geração termoelétrica através da análise termoeconômica. In: Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences –Encit, 7., 1998, Rio de Janeiro. Anais... p381-386. Rio de Janeiro. PUC, 1998.