

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ANDREZA FERNANDES AMARAL
DANIEL FELIPE DE FREITAS
GABRIELA ALVES MAGALHÃES
KAMILA FERREIRA

**SEGURANÇA DE PROCESSOS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS PARA A
VALIDAÇÃO DE UM PROCESSO SIMULADO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL.**

São Bernardo do Campo

2021

ANDREZA FERNANDES AMARAL
DANIEL FELIPE DE FREITAS
GABRIELA ALVES MAGALHÃES
KAMILA FERREIRA

**SEGURANÇA DE PROCESSOS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS PARA A
VALIDAÇÃO DE UM PROCESSO SIMULADO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, orientado pelo Prof. Luciano Gonçalves Ribeiro.

São Bernardo do Campo

2021

SEGURANÇA DE PROCESSOS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS PARA A VALIDAÇÃO DE UM PROCESSO SIMULADO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL / Daniel Felipe de Freitas...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2021.

272 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Luciano Gonçalves Ribeiro.

1. Análise de risco. 2. Segurança de processos. 3. Prevenção de acidentes. 4. Indústria química. 5. Biodiesel. I. Freitas, Daniel Felipe de. II. Magalhães, Gabriela Alves. III. Amaral, Andreza Fernandes. IV. Ferreira, Kamila. V. Ribeiro, Luciano Gonçalves, orient. VI. Título.

ANDREZA FERNANDES AMARAL
DANIEL FELIPE DE FREITAS
GABRIELA ALVES MAGALHÃES
KAMILA FERREIRA

**SEGURANÇA DE PROCESSOS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS PARA A
VALIDAÇÃO DE UM PROCESSO SIMULADO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, orientado pelo Prof. Luciano Gonçalves Ribeiro.

Comissão julgadora

Orientador e presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

2021

Dedicamos este trabalho a todos os nossos professores e familiares que tornaram possível a aplicação de nossos esforços.

AGRADECIMENTOS

Em especial a nosso orientador Prof. Luciano Gonçalves Ribeiro, que esteve sempre disponível e dedicado em nos auxiliar durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores Luís Fernando Peffi Ferreira, Ivan Carlos Franco, Rodrigo Condotta e Luís Fernando Novazzi que forneceram a nós seus conhecimentos, estes se encontraram como essenciais para o detalhamento de nossas etapas.

Ao Centro Universitário FEI e todo seu corpo docente, que nos tornaram capazes de elaborar este trabalho.

“É sempre prudente olhar em frente, mas é difícil olhar para mais longe do que pode ver-se.”

Winston Churchill

RESUMO

A indústria química possui inúmeros perigos intrínsecos ao seu funcionamento, como seus reagentes, produtos, os equipamentos utilizados e as próprias características das reações químicas conduzidas. Por conta disso, conhecer e saber como atuar nos riscos destes processos é fundamental para garantir a segurança de todos aqueles presentes no mesmo ambiente da empresa, também para manter o processo funcionando sem acidentes, além de garantir seguridade econômica, ambiental e jurídica para as indústrias. Sabe-se também que existem inúmeros estudos de simulação de processos, que visam avaliar a viabilidade de uma rota e estudar seus balanços de massa e energia, porém, tais estudos não avançam nas etapas de implementação e conhecimentos dos riscos do processo. Portanto, o propósito deste trabalho foi usar dois fluxogramas de produção de biodiesel feito a partir da reação de transesterificação em meio básico que se diferem apenas na forma de preparação dos reagentes que seriam a reação de esterificação e a desacidificação física, captando os dados necessários para efetuar os estudos de riscos e demonstrando de forma prática os pontos que devem ser levados em consideração em uma boa análise, focando nos tipos de acidentes que podem ocorrer com base em cada equipamento e processo utilizados. Também foi proposto, com base em uma matriz de risco definida pelos autores com base em outras presentes na literatura, indicar como proceder com cada um dos patamares de risco – tendo como possibilidades: relevar a existência do risco, atuar no risco para diminuir sua magnitude e/ou sua probabilidade ou, por fim, terceirizar o risco por meio de uma apólice de seguro patrimonial. Neste trabalho foi pretendido validar qual tipo de análise de risco é melhor para o processo. Estes objetivos foram alcançados de forma teórica, analisando inicialmente os produtos, reagentes e utilidades empregados, em seguida analisando-se individualmente os equipamentos e, posteriormente, analisando os processos presentes (reações químicas, transporte de reagentes, trocas térmicas etc.,) usando dos métodos HAZOP e FMEA, e, com base nos resultados obtidos, conclui-se que a análise HAZOP é mais indicada para processos químicos, entretanto, a análise FMEA pode ser considerada para pequenas análises e é a ferramenta preferencial para análise de equipamentos isolados. Por fim, com base nas análises efetuadas, foi possível inferir que a rota de desacidificação física se apresenta como a mais segura dentre as estudadas, além de aparentar ter sua instalação, manutenção e operação mais baratas.

Palavras-chave: Análise de risco. Segurança de processos. Prevenção de acidentes. Indústria química. Biodiesel.

ABSTRACT

The chemical industry has numerous hazards intrinsic to its operation, such as its reagents, products, the equipment used, and the characteristics of the chemical reactions conducted. Because of this, knowing how to act on the risks of these processes is fundamental to ensure the safety of all those present in the same environment of the company, also to keep the process running without accidents, in addition to ensuring economic, environmental and legal security for industries. It is also known that there are numerous process simulation studies, which aim to evaluate the feasibility of a route and study its mass and energy balances, however, such studies do not advance to the stages of implementation and knowledge of the risks of the process. Therefore, the purpose of this work is to use as an example two routes of biodiesel production, differing only in the form of preparation of the reagents – which would be the reaction of transesterification and physical deacidification, to capture the data necessary to carry out the risk studies and to demonstrate in a practical way the points that should be taken in consideration in a good analysis, focusing on the types of accidents that can occur based on each equipment and process used. It is also proposed, based on a risk matrix defined by the authors based on other ones present in the literature, to indicate how to proceed with each of the risk levels – having as possibilities: to point out the existence of risk, to act on risk to decrease its magnitude and/or its probability or, finally, to outsource the risk through a property insurance policy. In this work it was intended to validate which type of risk analysis is best for the process. These objectives have been achieved in a theoretical way, initially analyzing the products, reagents and utilities used, then analyzing the equipment individually and then analyzing the processes that are used (chemical reactions, transport of reagents, thermal exchanges, etc.,) using the HAZOP and FMEA methods, and, based on the results obtained, it is concluded that HAZOP analysis is more indicated for chemical processes, however, FMEA analysis can be considered for small analyses and is the preferred tool for analysis of isolated equipment. Finally, based on the analyses performed, it is possible to infer that the physical deacidification route is the safest among those studied, besides appearing to have its installation, maintenance and operation cheaper.

Keywords: Risk analysis. Process security. Accident prevention. Chemical industry. Biodiesel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Exemplos de parâmetros, palavras-guias e desvios para HAZOP	21
Figura 2:	Fluxograma de desenvolvimento do HAZOP	22
Figura 3:	Modelo de Hazop – Torre de destilação de petróleo.....	23
Figura 4:	Modelo de HAZOP – Processo de fermentação.....	23
Figura 5:	Modelo de HAZOP – Distribuidoras de bebidas.	24
Figura 6:	Matriz de risco.....	24
Figura 7:	Exemplo de formulário de aplicação do método FMEA.....	26
Figura 8:	Exemplo de identificações de severidade para FMEA.....	27
Figura 9:	Exemplo de identificações de ocorrência para FMEA.....	28
Figura 10:	Exemplo de identificações de detecção para FMEA	29
Figura 11:	Exemplificação do mecanismo de transesterificação para óleos	30
Figura 12:	Reação de transesterificação do biodiesel.....	31
Figura 13:	Fluxograma da rota homogênea.....	32
Figura 14:	Exemplo de Válvula Globo com Haste e Volante Ascendente.....	41
Figura 15:	Exemplo de Válvula de Retenção Horizontal Flangeada	42
Figura 16:	Nomenclatura dos componentes de válvula de alívio de pressão.....	43
Figura 17:	Vistas em corte de uma bomba centrífuga.....	44
Figura 18:	Trocador de calor do tipo casco e tubo.	45
Figura 19:	Representação do mecanismo de funcionamento de um vaso Flash	46
Figura 20:	Esquema de uma coluna de destilação.....	47
Figura 21:	Coluna de pratos para extração líquido-líquido.....	48
Figura 22:	Exemplo de agitador mecânico	49
Figura 23:	Modelo de um reator CSTR.....	50
Figura 24:	Matriz de riscos para HAZOP.	55
Figura 25:	Tabela de severidade para estudo FMEA	56
Figura 26:	Tabela de ocorrência para estudo FMEA.....	57
Figura 27:	Tabela de detecção para estudo FMEA	58
Figura 28:	Modelo Para Aplicação do HAZOP	61
Figura 29:	Modelo para aplicação do FMEA	62
Figura 30:	Fluxograma do processo 1	65
Figura 31:	Etapa de remoção de água do processo 1.....	67
Figura 32:	Etapa de esterificação para o processo 1	68

Figura 33:	Etapa de recuperação do metanol	69
Figura 34:	Lavagem glicerol	70
Figura 35:	Reator de transesterificação	71
Figura 36:	Etapa de recuperação do metanol	72
Figura 37:	Etapa de lavagem com água.....	73
Figura 38:	Etapa de remoção de água de lavagem.	74
Figura 39:	Fluxograma do processo 2	75
Figura 40:	Etapa de remoção de água do processo 2.....	77
Figura 41:	Etapa de desacidificação física do etanol no processo 3.....	78
Figura 42:	Recuperação do etanol no processo 3	79
Figura 43:	Etapa de transesterificação para o processo 2.....	80
Figura 44:	Etapa de recuperação de etanol do processo 2.....	81
Figura 45:	Lavagem do biodiesel com água para o processo 2.....	82
Figura 46:	Etapa de remoção de água do biodiesel para o processo 2	83
Figura 47:	Diagrama de engenharia para o processo 1.....	87
Figura 48:	Diagrama de engenharia para o processo 2.....	88
Figura 49:	Demonstração dos nós no diagrama de engenharia.	91
Figura 50:	Fluxograma do processo 1 com recomendações.....	215
Figura 51:	Fluxograma do processo 2 com aplicação das recomendações	264

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Legenda da matriz de risco	25
Tabela 2:	Propriedades dos componentes utilizados.	35
Tabela 3:	Interpretação da matriz de risco HAZOP.....	55
Tabela 4:	Palavras-chave utilizadas para análise HAZOP.....	59
Tabela 5:	Equipamentos presentes no fluxograma do processo 1	66
Tabela 6:	Equipamentos presentes no fluxograma do processo 2	76
Tabela 7:	Sumário das condições operacionais dos principais equipamentos presentes nos fluxogramas dos processos 1	84
Tabela 8:	Sumário das condições operacionais dos principais equipamentos presentes no fluxograma do processo 3.....	85
Tabela 9:	Indicação dos nós para a metodologia HAZOP.....	90
Tabela 10:	Análise HAZOP para o processo 1.	93
Tabela 11:	Principais causas de Acidentes no estado de são Paulo desde 1978.....	210
Tabela 12:	Análise FMEA para o processo 2	217

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.	CONTEXTO HISTÓRICO	16
2.1.1.	Bhopal – Índia, 1984	17
2.1.2.	Plataforma P-36 – Brasil, 2001	18
2.1.3.	Acidentes envolvendo o Biodiesel	18
2.2.	ANÁLISE DE RISCOS E SEGURANÇA DE PROCESSOS.....	19
2.3.	METODOLOGIAS PARA ANÁLISES DE RISCO	20
2.3.1.	HAZOP	20
2.3.2.	FMEA	25
2.4.	BIODIESEL	30
2.4.1.	Riscos inerentes ao biodiesel	33
2.5.	ESTUDO DE CORRENTES E EQUIPAMENTOS.....	33
2.5.1.	Análise das correntes de processo	34
2.5.2.	Análise dos equipamentos do processo	40
2.5.2.1.	<i>Válvulas de controle de vazão</i>	40
2.5.2.2.	<i>Válvula globo</i>	40
2.5.2.3.	<i>Válvula de retenção</i>	42
2.5.2.4.	<i>Válvulas de alívio de pressão</i>	43
2.5.2.5.	<i>Bombas centrífugas</i>	44
2.5.2.6.	<i>Trocadores de calor</i>	44
2.5.2.7.	<i>Vasos de separação flash</i>	45
2.5.2.8.	<i>Colunas de destilação</i>	46
2.5.2.9.	<i>Colunas de extração líquido-líquido</i>	48
2.5.2.10.	<i>Misturadores</i>	48
2.5.2.11.	<i>Reatores químicos (CSTR)</i>	49

3.	OBJETIVO	51
3.1.	OBJETIVO GERAL	51
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
4.	METODOLOGIA	52
4.1.	DEFINIÇÃO DAS ROTAS PARA ESTUDO.....	52
4.2.	PREPARAÇÃO DO MATERIAL DE ESTUDO.....	52
4.3.	PREPARAÇÃO PARA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO. 53	
4.3.1.	Estudo das correntes de processo.	53
4.3.2.	Estudo dos equipamentos utilizados.....	53
4.3.3.	Definição da Matriz de risco.	54
4.3.3.1.	<i>Matriz de risco para HAZOP.</i>	<i>54</i>
4.3.3.2.	<i>Matriz identificadores para FMEA</i>	<i>55</i>
4.3.4.	Determinação dos nós e palavras-chave para o procedimento HAZOP.....	59
4.4.	APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE RISCO.	59
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1.	DEFINIÇÃO DAS ROTAS ESTUDADAS	63
5.2.	PROCESSO 1 – PREPARAÇÃO DO ÓLEO DE MICROALGA POR ESTERIFICAÇÃO COM METANOL	64
5.2.1.	Descritivo do processo 1.....	67
5.2.1.1.	<i>Remoção de água.....</i>	<i>67</i>
5.2.1.2.	<i>Reação de esterificação.....</i>	<i>67</i>
5.2.1.3.	<i>Recuperação do metanol.....</i>	<i>68</i>
5.2.1.4.	<i>Lavagem com glicerol</i>	<i>69</i>
5.2.1.5.	<i>Reação de transesterificação.....</i>	<i>70</i>
5.2.1.6.	<i>Recuperação do metanol.....</i>	<i>71</i>
5.2.1.7.	<i>Lavagem com água.....</i>	<i>73</i>

5.2.1.8.	<i>Remoção da água de lavagem</i>	74
5.3.	PROCESSO 2 – PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA POR DESACIDIFICAÇÃO FÍSICA.	74
5.3.1.	Descritivo do processo 2	77
5.3.1.1.	<i>Remoção de água</i>	77
5.3.1.2.	<i>Desacidificação física</i>	77
5.3.1.3.	<i>Recuperação do etanol</i>	78
5.3.1.4.	<i>Reação de transesterificação</i>	79
5.3.1.5.	<i>Recuperação do etanol</i>	80
5.3.1.6.	<i>Lavagem com água</i>	81
5.3.1.7.	<i>Remoção da água de lavagem</i>	82
5.4.	CONDIÇÕES DE PROCESSO	83
5.5.	CRIAÇÃO DOS FLUXOGRAMAS DE PROCESSO	86
5.6.	PREPARAÇÃO PARA APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS.....	89
5.6.1.	Determinação dos nós para análise HAZOP.	89
5.7.	ELABORAÇÃO DA ANÁLISE HAZOP	92
5.7.1.	Discussão da análise HAZOP	210
5.7.2.	Implementação das melhorias propostas para o processo 1.	211
5.8.	ELABORAÇÃO DA ANÁLISE FMEA.....	216
5.8.1.	Discussões da análise FMEA	262
5.8.2.	Implementação das melhorias propostas para o processo 2.	262
5.9.	COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO.	265
5.10.	DETERMINAÇÃO DO PROCESSO MAIS SEGURO	266
6.	CONCLUSÃO	267

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A segurança industrial, em um cenário ideal, e por vias legislativas que ostentam normas regulamentadoras, deve ser uma prática essencial e mandatória em todas as organizações, independente do produto produzido por ela. O tipo de gestão de segurança a ser realizada pela indústria que culmine e execute procedimentos aptos a evitar danos ambientais, estruturais, econômicos e sociais depende das especificidades da organização (CESTEB, 2021). O conhecimento do grau de periculosidade das substâncias em processo, das condições de operação e das operações unitárias em exercício - oriundos de estudos teóricos ou de experiências derivadas de acidentes anteriores - contemplam a particularidade e a extensão que deve conter a análise (BARROS, 2013). Diante disso, surgem metodologias e técnicas de análises de riscos que auxiliam no controle e aplicação desta gestão.

Os conceitos de análise de riscos em processos são fundamentais para iniciar a aplicação de uma metodologia. O potencial de causar um dano sempre irá existir, ou seja, independente dos procedimentos de segurança aplicados sempre existirão perigos, entretanto, a magnitude e probabilidade de ocorrência de um dano podem ser avaliadas e minimizadas, logo, um processo inerentemente seguro é aquele em que se reduz o risco ao máximo.

De forma intrínseca, há ações que culminam seguridade, que são: minimizar, substituir, moderar e simplificar fatores relacionados ao processo estudado. A estrutura básica para gerenciamento de riscos, que precede a aplicação do método é subdividido em etapas: a primeira consiste na identificação do perigo e risco, a segunda é a avaliação dos riscos e a última é a decisão, que abrange três ações determinantes que são: aceitar, transferir ou controlar o risco (CROWL e LOUVAR, 2011). Considerando que as anormalidades devem ser tratadas sistematicamente, um bom estudo de melhoria de processo se inicia com uma análise de riscos.

Sendo assim, ao analisar as rotas teóricas propostas e simuladas para a implementação de um processo e prosseguir com o desenvolvimento de diagramas de engenharia e uma posterior análise de riscos, podemos avaliar a viabilidade da criação de uma planta real para um processo até então teórico, propondo melhorias estruturais, salvaguardas e procedimentos operacionais que garantam qualidade à operação proposta. A segurança é igual em importância a produção e se desenvolveu em uma disciplina científica que inclui muitas teorias e práticas técnicas e complexas (CROWL e LOUVAR, 2011).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONTEXTO HISTÓRICO

A ocorrência de acidentes é um assunto com alta relevância na indústria química desde sua expansão durante a Segunda Guerra Mundial até os dias atuais. A partir do refino de matérias primas e/ou reagentes que são combinados em reações químicas, gerando diversos produtos na indústria química com diferentes graus de periculosidade, e adjunto com os maquinários de operações unitárias, tais fatores culminam cenários de perigos e consequentemente resultam em riscos a serem considerados (FIOCRUZ, 1995).

O termo “Desastres Industriais”, também chamado de “Acidentes Industriais Ampliados”, foi criado para designar qualquer acidente ocorrido por companhias industriais (FREITAS, 2000). Ele é utilizado para tratar de acidentes de grande porte, mundialmente conhecidos por sua devastação. Estima-se que entre 40% e 50 % dos acidentes ocorrem na atividade de produção, 46% e 15% no transporte e 33% e 16% no armazenamento (FIOCRUZ, 1995). Ao ser realizado o relatório de causas em acidentes ocorridos, observa-se a importância do gerenciamento de riscos, que pode evitar e minimizar acidentes na indústria química (FREITAS, 2000).

Há vários motivos que geram acidentes, como a falta de conhecimento do comportamento de uma substância em reações com outros reagentes, diferentes condições de operações, e o grau de periculosidade dessa substância, a falta de informação se ela é oxidante, explosiva, tóxica, inflamável, corrosiva e se apresenta piroforicidade. Além dos perigos relativos aos equipamentos, que envolvem máquinas rotativas, eletricidade, radiação e que podem gerar danos a curto e longo prazo para o operador acometido, ao meio ambiente e as estruturas da indústria (KLETZ, 1999). Também se tem a falha na operação, que envolve erros humanos tanto no manuseio, na construção e programação da linha de processo. Em resumo os envolvidos no processo são: manutenção, operação, projeto, inspeção, segurança, montagem, gerentes etc. (CHINAQUI, 2012).

Por volta da década de 80, houve o evento de muitos acidentes, o que resultou na degradação da credibilidade e a percepção que a indústria química não conseguia operar sem gerar danos ao meio ambiente e ao ser humano. Isso também derivou a baixa confiança dos investidores e o surgimento de normas regulamentadoras, remetendo uma forte e necessária reação regulatória. Ao estudar acidentes anteriores se torna conhecido as falhas mais comuns,

que normalmente envolve fatos e não possibilidades remotas, ou seja, se antes fosse identificado o perigo e aplicado uma medida preventiva para minimizar o risco, certamente o acidente não ocorreria ou, no mínimo, não atingiria proporções drásticas. Portanto, é possível adquirir experiências relevantes sem a necessidade de uma vivência dos desastres. Nos próximos subtópicos 2.1.1 e 2.1.2 estão descritos acidentes sucedidos que se tornaram um marco importante na história. Estes acidentes foram selecionados como exemplos pois, a partir deles, controles mais rigorosos de análise de riscos foram prescritos e recomendados e, relacionamos o tópico 2.1.2 ao biodiesel no quesito de descrever um acidente na produção de combustível de uso equivalente. No subtópico 2.1.3 contém a descrição de alguns acidentes envolvendo o biodiesel para um referencial das proporções as quais estes chegaram em casos reais.

2.1.1. Bhopal – Índia, 1984

Considerado o maior desastre Industrial já ocorrido, durante a manhã do dia 03 de dezembro de 1984, uma válvula de alívio em um dos reservatórios de uma fábrica estadunidense de pesticidas, Union Carbide Ltda, que armazenava uma substância altamente tóxica, o isocianato de metila (MIC), produziu o vazamento de aproximadamente 26 toneladas da substância. A nuvem tóxica formada afetou a cidade de Bhopal, com aproximadamente 800.000 habitantes. Os efeitos foram imediatos, muitos moradores das redondezas saíram de suas residências sentindo náuseas, regurgitando sangue e apresentando sérios problema de visão. Ainda que a quantidade de mortos e feridos seja muito imprecisa, foi possível afirmar que este acidente gerou entre 2.500 e 4.000 óbitos, além de mais de 180.000 feridos. Atualmente, ainda existe uma grande quantidade de lixos tóxicos na fábrica abandonada e considerável parte da população acometida pelo desastre persiste na luta de conseguir uma indenização do governo estadunidense (KLETZ, 1999).

O tanque de armazenamento de MIC foi contaminado por uma exorbitante quantidade de água e clorofórmio, dando início ao uma reação descontrolada, que sucedeu um aumento de pressão e temperatura, implicando no levantamento da válvula de alívio e o vapor de MIC foi descarregado na atmosfera. É desconhecida rota precisa pela qual as substâncias indevidas entraram no tanque. Havia um equipamento de proteção incluído na planta do processo, que deveria ter impedido ou ao menos minimizado a liberação do gás, mas infelizmente no dia do acidente, estava fora de serviço. Em resumo, o sistema de refrigeração do tanque de armazenamento estava desligado, o sistema de lavagem responsável por absorver o vapor não

estava imediatamente disponível e por último, o flare que tinha como função queimar o vapor que passou pelo sistema de lavagem, estava indisponível para uso (KLETZ, 1999).

2.1.2. Plataforma P-36 – Brasil, 2001

Em 2001, os trabalhadores da P-36 da Petrobrás, a maior plataforma flutuante para extração de petróleo do mundo, foram surpreendidos por uma explosão. Ocorreu uma tragédia que repercutiu no afundamento completo da plataforma e a de perda de onze vidas (PEREZ, 2007). De acordo com o relatório da Petrobrás, por volta da 0h20 do dia 15 de março de 2001, houve uma explosão na Plataforma 36 no Campo do Roncador, na Bacia de Campos Rio de Janeiro. As operações da plataforma foram imediatamente suspensas, e a brigada de emergência foi acionada. No meio da calamidade derivada da primeira explosão e ao processo de aplicação das ações de controle, aconteceu uma segunda explosão, por volta de 0h50. De acordo com a Agência Nacional de Petróleo – ANP, a não conformidade quanto aos procedimentos operacionais de manutenção e de projeto, foi a causa do acidente (CHINAQUI, 2012).

Segundo o sindicato, houve relatos pelos próprios operadores da plataforma de problemas estruturais. E na época a empresa passava por uma redução de investimentos, no qual resultou a falta de manutenção precisa e necessária (FUP, 2021).

2.1.3. Acidentes envolvendo o Biodiesel

Em 2011, a maior usina de biodiesel do Brasil, Oleoplan, localizada em Veranópolis-RS, teve uma explosão em um tanque de armazenamento que resultou na morte de um funcionário e no ferimento de outros dois. Durante o reparo de um tanque de armazenamento de água de tratamento de processo, no qual tinha presente resíduos contaminantes, como o metanol, foi necessário o uso de solda para prosseguir com o conserto, no qual se tornou a fonte de ignição e gerou a explosão (RODRIGUES, 2011).

Em 2009, na indústria Binatural localizada em Formosa- GO, ocorreu evento similar ao citado anteriormente. Operadores realizavam um reparo no reservatório de glicerina, utilizando solda, o que resultou na explosão (RODRIGUES, 2011). Isso ocorreu, pois os vapores da glicerina são mais densos que o ar e podem espalhar-se junto ao solo. Em um cenário de aquecimento elevado, formam-se misturas explosivas com o ar. Os vapores são inflamáveis e

perigosos e um incêndio pode desenvolver a acroleína, derivada da desidratação da glicerina (FISPQ, 2017).

Os acidentes e incidentes tendem acontecer novamente, inclusive no mesmo local, devido as lições não divulgadas, esquecidas ou pela troca de equipe. Os cuidados podem ser relaxados com o tempo, inclusive ser aplicado mecanicamente sem caráter meticuloso, decorrido pela existência de pressa, decisão de não evitar conflitos internos na empresa e entre outros. Tais fatores não deveriam suceder, mas sucedem (KLETZ, 1999). Não basta somente realizar as ações de segurança, deve-se convencer as pessoas a aplicar tais ações de forma eficiente, cumprindo a norma regulamentadora 1.

2.2. ANÁLISE DE RISCOS E SEGURANÇA DE PROCESSOS.

Com a evolução do mercado e das indústrias, o conceito de segurança de processo passou a ser fator determinante para a estável progressão de uma empresa. A crescente tecnologia veio acompanhada de possíveis acidentes e elementos que podem causar prejuízo a recursos tangíveis e intangíveis de uma organização, ponto que trouxe a necessidade de se criar métodos eficientes de detecção de riscos para que medidas de contenção sejam estabelecidas.

O conceito de risco é um aspecto que se encontra sempre em mudança constante, por ser este uma caracterização baseada em incertezas de processo e de ação humana. Como definido por Gondim (2007), o risco é observado pela sociedade através dos três seguintes pontos:

- a) o potencial de perdas e danos;
- b) a incerteza das perdas e danos;
- c) a relevância das perdas e danos.

Portanto, a preocupação causada por tal risco é interdependente do “nível” que este possui em cada um dos fatores acima.

As incertezas de um risco não são em si conceitos onde se pode atuar para um gerenciamento efetivo e, segundo Borraz (2014), é necessário que sejam utilizadas técnicas e mecanismos baseados em conhecimento de processo para que estas sejam convertidas em termos administráveis. Tais técnicas são conhecidas como análises de risco, e buscam qualificar e mensurar tais riscos de modo que sejam gerenciados de acordo com a urgência ou necessidade, além de possibilitar a identificação de cenários de perigo.

A segurança de um processo está intrinsecamente relacionada as fontes de risco que este possui, e quão bem o sistema é construído nos quesitos de resguardo e prevenção de causalidades. A aplicação de análise de riscos em escala detalhada é essencial para obter-se uma garantia de que todos os recursos -humanos ou não- aplicados no meio não sejam prejudicados.

2.3. METODOLOGIAS PARA ANÁLISES DE RISCO

Durante este tópico estão detalhadas as metodologias de análises de risco utilizadas durante o presente trabalho.

2.3.1. HAZOP

A técnica HAZOP (Hazard and Operability Study) é provavelmente o método de análise de riscos mais amplamente aceito e usado na indústria de processos (SAITO, 2019). Este método estruturado e sistemático de investigação de sistemas tem como objetivo a revisão cuidadosa de um projeto, visando a identificação de toda e qualquer situação passível a causar riscos para a saúde e vida humana, ao meio ambiente e a instalação/projeto estudado. Com o estudo minucioso de diversas situações, são identificados os desvios dentro de cada parte do objeto de estudo com intrincado detalhamento em suas causas e consequências, para que posteriormente sejam identificados modos de detecção destas ocorrências indesejadas, além de salvaguardas para evitar demais adversidades.

Para a aplicação do método HAZOP, é necessário que toda a planta ou processo seja separada em “nós”, que consistem nos pontos críticos do processo que serão passíveis de observação. Estes nós de estudo serão individualmente analisados, identificando-se os respectivos parâmetros de importância, que por sua vez serão associados ao uso de “palavras-guia” -conjunto de palavras que, juntamente aos parâmetros, trazem ampla visão de processo por refinar o escopo de situações possíveis. A figura 1 traz alguns dos termos mais utilizados como parâmetros e palavras-guia de processo:

Figura 1: Exemplos de parâmetros, palavras-guias e desvios para HAZOP

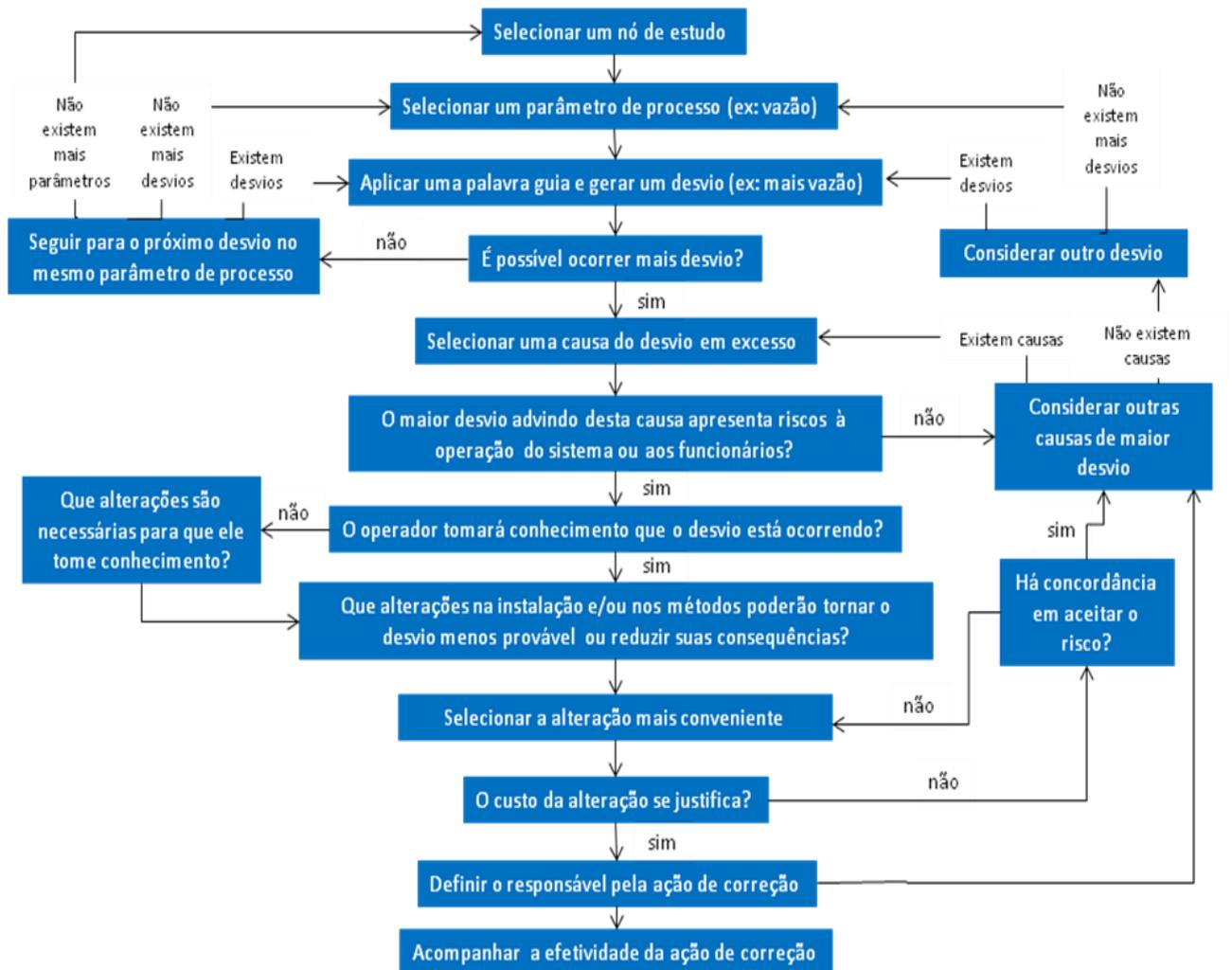
Parâmetros (Variáveis)	Palavra-Guia	Desvio
FLUXO	Nenhum	nenhum fluxo
	Menos	menos fluxo
	Mais	mais fluxo
	Reverso	fluxo reverso
	Também	Contaminação
PRESSÃO	Menos	Pressão baixa
	Mais	Pressão alta
TEMPERATURA	Menos	Temperatura baixa
	Mais	Temperatura alta
NÍVEL	Menos	Nível baixo
	Mais	Nível Alto
VISCOSIDADE	Menos	Viscosidade baixa
	Mais	Viscosidade alta
REAÇÃO	Nenhum	Nenhuma reação
	Menos	reação incompleta
	Mais	Reação descontrolada
	Reverso	reação reversa
	Também	reação secundária

Fonte: Aguiar (2014, p.16).

O processo da análise é realizado em grupos com componentes que possuam conhecimento do processo. O membro com mais experiência é designado para a denominação das palavras-guia utilizadas, além de liderar e mediar o decorrer do estudo.

A partir da seleção de um nó de estudo, realiza-se a aplicação do parâmetro deste. As palavras guias adequadas, resultando em um desvio de processo. Com o desvio em mãos, é necessária a aplicação do conhecimento processual da equipe, para que sejam determinadas as causas e consequências deste. A seguir, devem ser determinadas salvaguardas com o objetivo de prevenir e/ou mitigar as situações em questão, gerando também recomendações de melhoria e detalhando o funcionamento de cada salvaguarda. A figura 2 representa o processo completo por etapas.

Figura 2: Fluxograma de desenvolvimento do HAZOP



Fonte: Rebelato et al., 2015.

Ao fim da análise se é obtida uma tabela completa, detalhando todos os subconjuntos de risco, além de passos necessários para que o projeto se torne o mais seguro o possível. Abaixo, segue uma demonstração do cabeçalho da planilha de avaliação HAZOP (figura 3):

Figura 3: Modelo de Hazop – Torre de destilação de petróleo

Hazop Identificação de Perigos e Operabilidade				
Objeto da análise: sistema de aquecimento da carga para uma torre de destilação de petróleo			Órgão	Folha
Executado por:			Número	Data
Variável Palavra-guia	Desvio	Causas	Conseqüências	Medidas de controle de risco e de emergência
1. vazão 1.1 nenhum	Ausência de fluxo	Bloqueio indevido	Superaquecimento com possibilidade de rompimento dos tubos do forno.	1. Instalar alarme de vazão baixa. 2. Elaborar procedimento operacional. 3. Instalar sistema para corte de combustível por ocorrência de vazão baixa nos tubos do forno.
1.2 mais	Vazão maior	Abertura indevida da válvula de controle	Possibilidade de desarme da bomba da carga por corrente elevada no motor, acarretando ausência de fluxo nos tubos do forno com possibilidade de coqueamento e/ou rompimento.	

Fonte: Cardella, 2008.

Existem outros exemplos de cabeçalho final, nestes, existem algumas diferenças básicas em nomenclatura e ordem de abordagem da técnica, mas todas permitem aplicar o método com eficiência. As figuras 4 e 5 contém outros modelos estudados para que se tenha maior visibilidade das nuances disponíveis.

Figura 4: Modelo de HAZOP – Processo de fermentação

Parâmetro	Palavra guia	Desvio	Causa	Deteção	Consequência (evento indesejável)	Recomendação	Frequência
Brotamento	Maior	Brotamento superior a 20%	Condições diversas favoráveis à levedura	Análise de controle de qualidade	Baixo rendimento de fermentação; perda de açúcar residual no vinho; baixo GI do vinho	Manter condições de fermentação favoráveis à levedura mas não ao brotamento. Formas de provocar o estresse: dosagem de ácido variável; diminuir água nas cubas	Sempre que necessário
	Menor	Brotamento inferior a 5%	Condições desfavoráveis à levedura	Análise de controle de qualidade	Baixo rendimento de fermentação; perda de açúcar residual no vinho; baixo GI do vinho; perda de massa biológica	Induzir a levedura a produzir álcool: Manter elevada concentração de açúcares no mosto/ alto teor alcóolico; Manter adequada a dosagem de ácido sulfúrico e hidratação da cuba; manter % de levedo entre 8 e 10%; realizar sangrias para manter controlado o % de levedo.	Diário
Tempo de fermentação	Menor	Alto tempo de fermentação/ Fermentação lenta ou parada	Falta de oxigênio na pré fermentação, falta de nutrientes	Via análise de controle de qualidade	Estresse alcóolico	Controlar o tempo de fermentação para não exceder o ideal.	Horário
Estresse alcóolico	Maior	Alto estresse alcóolico	Exposição por longo tempo à altas concentrações de etanol/ Elevado tempo de fermentação	Via análises de glicerol, viabilidade, tempo de fermentação entre outras.	Baixo rendimento de fermentação, em casos extremos ocasionará queda na viabilidade	Controlar o tempo de fermentação para não exceder o ideal; Realizar boa separação do fermento e vinho nas centrífugas.	Horário

Fonte: Leite e Lima, 2019.

Figura 5: Modelo de HAZOP – Distribuidoras de bebidas.

Nó 2								
Atividade 4: Os produtos são armazenados com auxílio da empilhadeira de acordo com seu grau de rotatividade						Parâmetro: Atenção		
Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Causa	Consequências	Providências	F	S	R
Menos	Atenção	Falta de Atenção	<ul style="list-style-type: none"> • Distração; • Excesso e acúmulo de trabalho; • Problemas particulares; • Fazer rotina no automático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atropelamento; • Queda de produtos; • Batida contra veículos e estruturas; • Armazenamento incorreto (grau de rotatividade). 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientação; • Eliminar a interjornada; • Revisão da rotina básica. 	3	3	3
Atividade 4: Os produtos são armazenados com auxílio da empilhadeira de acordo com seu grau de rotatividade						Parâmetro: Manuseio de Material		
Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Causa	Consequências	Providências	F	S	R
Outros	Manuseio de Material	Manuseio Inadequado	<ul style="list-style-type: none"> • Distração; • Excesso e acúmulo de trabalho; • Operação inadequada de equipamentos (Empilhadeira) 	<ul style="list-style-type: none"> • Queda de produtos; • Corte; • Perfuração; • Atropelamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Treinamento; • Orientação; • Eliminar a interjornada. 	2	2	1
Atividade 4: Os produtos são armazenados com auxílio da empilhadeira de acordo com seu grau de rotatividade						Parâmetro: Ergonomia		
Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Causa	Consequências	Providências	F	S	R
Menos	Ergonomia	Menos Ergonomia	<ul style="list-style-type: none"> • Não utilização da cinta ergonômica (EPI); • Postura e movimentação incorreta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Doenças do trabalho; • Problemas físicos em geral. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientação uso de EPIs; • Inclusão de ginástica laboral; • Treinamento 	4	2	3

Fonte: Pinheiro e Martins, 2020

Para avaliação da necessidade de se atuar sobre um desvio, utiliza-se de uma matriz de risco (figura 6) onde se encontram os graus de frequência, severidade e risco do desvio a ser gerenciado. Tal instrumento define quais riscos devem ser priorizados ou não de acordo com os parâmetros anteriores, o que possibilita uma seleção detalhada dos pontos que necessitam de análise. A severidade é lida no eixo vertical e a frequência no horizontal. E o risco é a interseção entre os dois fatores na matriz, o peso do risco é explicado na tabela 1.

Figura 6: Matriz de risco

		1	2	3	4
Severidade	4	2	3	4	4
	3	1	2	3	4
	2	1	1	2	3
	1	1	1	1	2
		1	2	3	4
		Frequência			

Fonte: Pinheiro e Martins, 2020

Tabela 1: Legenda da matriz de risco

Peso	Risco
1	Desprezível
2	Moderado
3	Sério
4	Crítico

Fonte: Adaptado de Pinheiro e Martins, 2020

Ao realizar a análise de risco com as ferramentas propostas, o processo é finalizado e posteriormente analisado pelos engenheiros responsáveis pela implantação, que validarão a possibilidade de se aplicar as medidas definidas dentro do projeto, ao passo que este resultado acordado irá para a análise financeira e aprovação final.

2.3.2. FMEA

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) é uma das principais técnicas de engenharia utilizadas para definir, identificar e eliminar falhas em potencial e/ou falhas já conhecidas em um produto ou processo antes que este seja entregue ao cliente final (OMDAHL, 1988). Este método também é utilizado em muitos estudos de melhoria contínua, podendo proporcionar benefícios como: reduções de custo ou tempo de processo, criação de processos mais robustos e consolidados, melhora na satisfação do cliente final, entre outros.

Uma análise FMEA possui duas formas de ação: a primeira se baseia em dados históricos, normalmente feito por meio de pesquisas sobre o objeto de estudo. Estas pesquisas visam entender os principais motivos de falhas, as principais queixas feitas sobre um produto ou processo similar e qualquer dado relevante que possa agregar a análise de riscos definindo as possíveis falhas; A segunda forma se baseia na modelagem matemática, nas simulações de processos e nos dados estatísticos. Normalmente esta segunda frente é realizada por engenheiros que conhecem o material de estudo e, portanto, tem a habilidade de identificar os principais pontos de falha e propor melhorias significativas (STAMATIS, 2003). Uma análise FMEA de qualidade deve proporcionar os seguintes tópicos:

- a) A identificação dos modos de falhas potenciais e já conhecidos;
- b) Identificação de causas e efeitos de cada estrutura de falha;

- c) Identificação das frequências de ocorrência, severidades e dificuldades de detecção;
- d) A priorização dos modelos de falha identificados, com base no seu número de prioridade de risco (RPN);
- e) Criação de uma estrutura de monitoramento de riscos e de ações corretivas.

Na figura 7 a seguir podemos identificar como deve ser estruturado um FMEA.

Figura 7: Exemplo de formulário de aplicação do método FMEA

FMEA – ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA										
Processo de fabricação		Fábrica		Documentos afetados			Página 1 de Original:			
Produto:		Gestor:								
Tipo:		Gerente:								
Cor:		Operador:								
		Auxiliar:								
Função	Modo de falha	Efeito	Severidade	Causa	Ocorrência	Controle	Deteção	RPN	Ação recomendada	Status

Fonte: Santos et. al 2014

A primeira parte deste exemplo é o cabeçalho, que visa especificar dados como: do que se trata este FMEA, quem são os envolvidos no procedimento, o que será influenciado por este processo, data de início e de atualizações deste documento e quem é o responsável pela manutenção do documento (PALADY 1997).

Em seguida, o formulário deve ser preenchido linha a linha, da esquerda para a direita com a função do projeto, seus modos de falha, efeitos das possíveis falhas, sua severidade, causa, os mecanismos de controle, o quão fácil é detectar a falha. Por fim, se determina o RPN e, com base neste número, podem se seguir com as ações recomendadas e o monitoramento destas. As informações de severidade, ocorrência e detecção são feitas por meio de graduações, que devem ser definidas antes do início do projeto. A multiplicação destes três fatores resulta no RPN.

Conforme mencionado anteriormente, as graduações de severidade, ocorrência e detecção são definidas antes do início do estudo, ambos os campos têm notas de zero a dez atribuídas. Por meio das figuras 8, 9, 10 a seguir, podemos ter um exemplo de identificações destes campos:

Figura 8: Exemplo de identificações de severidade para FMEA

GRAU	•ESCALA DE SEVERIDADE
1	•Efeito não percebido pelo cliente.
2	•Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.
3	•Efeito insignificante, que perturba o cliente, mas não faz com que procure o serviço.
4	•Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço.
5	•Efeito menor, inconveniente para o cliente; entretanto, não faz com que procure o serviço.
6	•Efeito menor, inconveniente para o cliente; fazendo com que o cliente procure o serviço.
7	•Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.
8	•Efeito significativo, resultando em falha grave; entretanto, não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha.
9	•Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.
10	•Perigoso, ameaça à vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização.

Fonte: Santos et. al 2014

Figura 9: Exemplo de identificações de ocorrência para FMEA

GRAU	•ESCALA DE OCORRÊNCIA
1	•Extremamente remoto, altamente improvável.
2	•Remoto, improvável.
3	•Pequena chance de ocorrência.
4	•Pequeno número de ocorrências.
5	•Espera-se um número ocasional de falhas.
6	•Ocorrência moderada.
7	•Ocorrência frequente.
8	•Ocorrência elevada.
9	•Ocorrência muito elevada.
10	•Ocorrência certa.

Fonte: Santos et. al 2014

Figura 10: Exemplo de identificações de detecção para FMEA



Fonte: Santos et. al 2014

Na elaboração, é preciso identificar os processos e seus equipamentos que serão analisados. O melhor método para tal é a análise de criticidade, como já dito anteriormente, uma ferramenta usada para avaliar como as falhas de equipamentos afetam o desempenho organizacional para classificar sistematicamente os ativos da planta para fins de priorização de trabalho, classificação de material, manutenção preventiva, manutenção preditiva e iniciativas de melhoria da confiabilidade (ENGETELLES, 2020).

Durante as análises de FMEA, é importante manter uma abordagem aberta e criativa entre os membros, para identificar quantos possíveis modos de falha. Estas análises serão mais ricas se envolverem profissionais da área de produção, qualidade, engenharia e segurança do trabalho (SOUZA, 2018). O líder do estudo precisa ter como competência habilidades de facilitação.

É considerado boa prática no estudo: a análise de FMEA's que já foram implementadas com sucesso, tomar conhecimento de ações recomendadas para estudos semelhantes é uma forma de contribuir para a aplicação; revisar a cada três meses e, para isso, analisar os resultados obtidos e propor o novo FMEA.

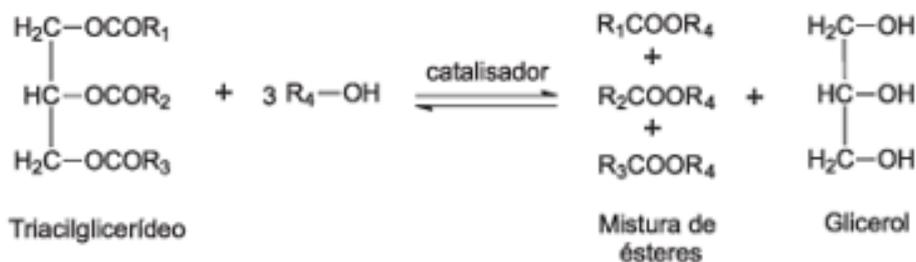
2.4. BIODIESEL

O biodiesel é um combustível feito para substituir o uso do diesel em motores a combustão. O diesel é um combustível derivado do petróleo, ou seja, de uma fonte não renovável que emite altos índices de poluentes nocivos à saúde como produto de sua reação de queima. Já o biodiesel é um biocombustível proveniente de óleos vegetais ou gorduras animais, que são fontes completamente renováveis, e que possui uma queima considerada limpa, já que emite muito menos poluentes durante sua combustão, sendo assim, um método muito mais vantajoso para a geração de energia. São estimadas porcentagens crescentes de biodiesel na composição do diesel atualmente utilizado, podendo ser possível uma eventual troca completa do diesel pelo combustível renovável. No Brasil, foi implantado, a mais de vinte anos, o uso do biodiesel na matriz energética por meio do PNPB (Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel), que é um programa feito para, além de implementar tal combustível, dar enfoque à inclusão social e desenvolvimento regional, acarretando também na menor necessidade da importação do diesel (ANP, 2020)

Um combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda as especificações da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biodiesel) (BIODIESELBR, 2017).

Comumente produzido pela transesterificação de algum óleo vegetal, ou gordura animal (figura 11) com o uso de um álcool de cadeia curta como o metanol ou o etanol. Os catalisadores mais comuns são as alquilas, ácidos ou lipases (FAN et al., 2018). Existem também métodos biotecnológicos adotados, com lipases sendo utilizadas como catalizadoras da reação, garantindo um melhor rendimento e com condições mais brandas para a síntese.

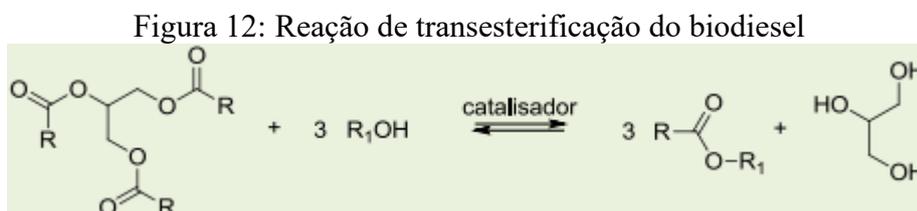
Figura 11: Exemplificação do mecanismo de transesterificação para óleos



Fonte: Garcia, 2006

Existem comportamentos importantes que devem ser ressaltados ao analisar a produção do biodiesel. Considerando que as principais fontes de triacilgliceróis para a síntese do biodiesel são os óleos vegetais, óleos residuais e gorduras animais, nota-se que as restrições associadas a estes devem ser consideradas, uma vez que existem óleos denominados não ideais, devido ao elevado teor de iodo, o que torna o biodiesel mais vulnerável a oxidação, rotulando o combustível como inadequado para o uso direto em motores. Normalmente esse obstáculo pode ser contornado pela adição de antioxidantes na substância. Outro ponto a ser salientado são as propriedades do biodiesel quando as condições de processo requerem baixas temperaturas, pois pode solidificar caso a matéria prima apresente elevado teor de ácidos graxos. A diminuição de temperatura resulta no aumento de viscosidade de ésteres saturados, podendo ocasionar o entupimento no mecanismo de injeção e nos filtros de óleo. O comportamento é similar ao diesel de petróleo, derivado da existência de parafínicos, tal problema pode ser mitigado em ambos os casos utilizando aditivos (RAMOS et al., 2011).

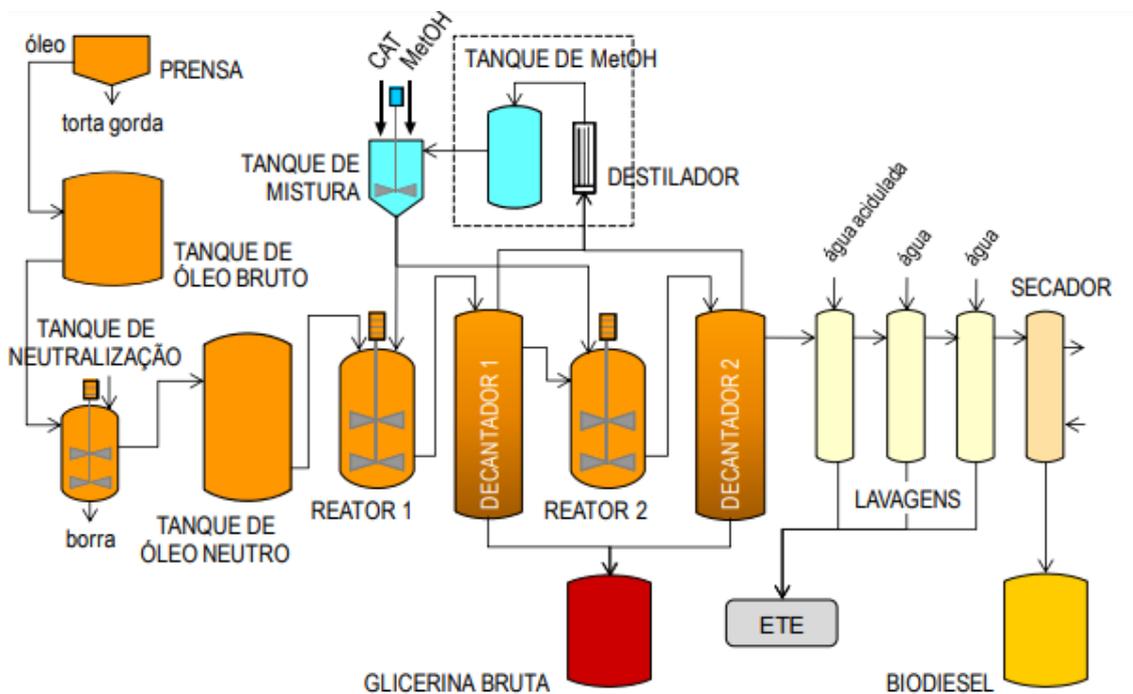
Tem-se a transesterificação como principal método de produção do biodiesel, no qual um mol de triacilglicerol reage com três mols de álcool, que normalmente são metanol ou etanol, além do uso de um catalisador, podendo ser homogêneo, heterogêneo ou enzimático. A figura 12 ilustra essa reação.



Em meio alcalino homogêneo, a alcoólise, ocorrida durante a reação de transesterificação, apresenta sensibilidade na presença de ácidos graxos livres, implicando na reação da base utilizada como catalisador, formando sabões e resultando na diminuição do rendimento da síntese, devido a inibição da alcoólise. Outro comportamento a ser considerado é a cinética da reação ao aumentar a temperatura. Como esperado, a elevação da temperatura deveria aumentar a velocidade da reação e ampliar o rendimento, entretanto é observado uma anomalia, no qual tem-se elevado rendimento em temperatura amenas, em torno de 30 a 40 °C. Temperatura elevada pode favorecer também a reação de hidrólise, provocando reações secundárias no processo, essa seria uma possível explicação a esse comportamento. Essa rota requer várias etapas de purificação para atingir o teor de monoésteres exigido pela ANP.

Em meio ácido homogêneo, não é relevante a quantidade radical livres de ácidos graxos no meio reacional, pois os mesmos podem ser esterificados durante a reação. Com isso, ao utilizar essa rota, há a vantagem na diminuição do valor agregado das matérias primas. Entretanto, a alcoólise em meio ácido requer maior potencial energético. E é similar a cinética comparada a rota alcalina, normalmente sendo necessárias 3 horas de reação. O fluxograma para as rotas homogêneas alcalina e ácida, está ilustrado na figura 13.

Figura 13: Fluxograma da rota homogênea



Fonte: Ramos et al., 2011

Devido as etapas de purificação necessárias para obedecer às normas exigidas pela ANP 7, surge a rota que utiliza catalisadores heterogêneos, no qual apresentam vantagens ambientais e facilidade processual ao purificar os monoésteres, através da reutilização do catalizador sólido e na minimização de resíduos. O processo é o mesmo das rotas homogêneas.

Como citado, o biodiesel é oriundo de substâncias oleaginosas, infelizmente por esse meio de síntese o suprimento não é suficiente para a demanda global de biocombustíveis, com isso iniciou-se estudos para obtenção do combustível pelo uso de outras matérias primas. Dentro desse cenário, surgem as microalgas que prometem suprir a deficiência na demanda mundial. Necessitando apenas de energia solar e dióxido de carbono, as microalgas oferecem ao processo

rendimento superior ao comparado da produção com oleaginosas. De modo geral, apresentam baixos custos relacionados a colheita e ao transporte e tratamento químico simples. Entretanto, alguns fatores dificultam a síntese do biocombustível utilizando essa matéria prima, como a complexidade logística de produção de larga escala e o empecilho de em sistemas abertos utilizar organismos geneticamente modificados e entre outros. A rota com catalisadores enzimáticos, utilizam os biocatalisadores denominados lipases, cuja atividade e função biológica é liberar ácidos graxos livres ao catalisar a hidrólise das oleaginosas. O uso da enzima, possibilita a diminuição de subprodutos, oferece baixo custo no tratamento dos resíduos do processo e exige temperaturas e pressões brandas para a operação. (RAMOS et al., 2011)

2.4.1. Riscos inerentes ao biodiesel

Como definido em sua FISPQ, obtida de PETROBRÁS (2011), são classificados os perigos do biodiesel:

- a) Perigos a saúde: causa irritações ocular e pode acarretar lesões oculares graves;
- b) Perigos ao meio ambiente: prejudicial em caso de grandes derramamentos, em caso de aquecimento pode liberar gases tóxicos e corrosivos e possui risco de incêndio caso aquecido.

Estes riscos se referem ao produto final, porém sabe-se que há fatores de perigo no armazenamento dos reagentes e subprodutos, além dos riscos inerentes ao processo de produção.

2.5. ESTUDO DE CORRENTES E EQUIPAMENTOS

É de suma importância para que uma análise de risco seja feita de maneira eficaz que suas correntes, equipamentos e modos de falha sejam classificados e estudados a fundo, por conta disso no tópico 2.5.1 estão descritas as principais informações das correntes presentes nos processos estudados, já no tópico 2.5.2 estão explicados os funcionamentos e mecanismos de falha dos equipamentos presentes nestes processos.

2.5.1. Análise das correntes de processo.

Com o intuito de sumarizar os dados das correntes dos processos estudados foi-se desenvolvida a tabela 2 abaixo, que contém informações de composição, propriedades e informações de segurança referentes a cada corrente que compõe os processos estudados durante o presente trabalho

Tabela 2: Propriedades dos componentes utilizados.

(continua)

Componentes	pH	Massa molar g/mol	Densidade g/cm ³	Ponto de fusão °C	Ponto de ebulição °C	Ponto de fulgor °C	Riscos à saúde	Riscos ao ambiente	Armazenamento	Perigos
Óleo da microalga <i>Phaeodactylum tricorutum</i> *	Não disponível	Não disponível	0,919	-11 (Ponto de névoa)	Muito alto	171 em vaso fechado	Não disponível	Não disponível	Não disponível	Não disponível
Ácido Palmítico (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	Não disponível	256,4	0,85	62,5	351,5	205 em câmara fechada	•Provoca irritação cutânea. Causa uma irritação nos olhos.	•Evitar que o produto alcance ralo ou sistema de drenagem, reservatório e cursos d'água.	•Manter embalagens firmemente fechadas. Estocar em local frio e seco.	•Incompatível com Ácidos Fortes, Bases e Reagentes Oxidantes. •Muito comburento.
Ácido mirístico (C ₁₄ H ₂₈ O ₂)	Não disponível	228,4	0,89	52	250	113	Não é uma substância ou uma mistura perigosa. Até ao momento, não são conhecidos os sintomas e efeitos	•Manter afastado dos esgotos, das águas superficiais e subterrâneas.	•Manter o recipiente bem fechado. Guardar em lugar fresco.	•Em caso de incêndio formam-se gases inflamáveis e vapores perigosos. •Possibilidade de explosão de pó.
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	1	98,08	1,83	10,4	337	Não aplicável	Pode ser nocivo se ingerido. Causa queimadura severa a pele e dano aos olhos. Causa danos oculares graves. Fatal se inalado. Causa dano ao sistema respiratório através da exposição repetida ou prolongada.	•Perigoso para a vida aquática. •Reação com água produz calor.	•Armazenar em local bem ventilado. Manter o recipiente bem fechado. •Armazenar em local fechado à chave.	•Substância não inflamável, mas altamente reativa; forte agente oxidante podendo causar ignição quando em contato com materiais combustíveis.
Metanol (CH ₃ OH)'	Não disponível	32,04	0,792	-97,6	64,7	12,2	Fatal se ingerido. Pode prejudicar a fertilidade ou o feto. Pode ser absorvido através da pele em quantidades tóxicas ou letais. Causa danos oculares graves. Pode ser fatal se inalado em grandes quantidades.	•O metanol em água doce ou salgada pode ter efeito grave na vida aquática.	•Armazenar em local bem ventilado. Manter o recipiente bem fechado. •Armazenar em local fechado à chave.	•Reage com oxidantes fortes, minerais fortes ou ácidos orgânicos e bases fortes. •Inflamável.

Tabela 2: Propriedades dos componentes utilizados.

(continuação)

Componentes	pH	Massa molar g/mol	Densidade g/cm ³	Ponto de fusão °C	Ponto de ebulição °C	Ponto de fulgor °C	Riscos à saúde	Riscos ao ambiente	Armazenamento	Perigos
Ésteres metílicos	Não disponível	Não disponível	0,91	Não disponível	Não disponível	85 em câmara fechada	<ul style="list-style-type: none"> •Irritante para a pele. •Irritante para os olhos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Não disponível. •Não permitir que atinja águas superficiais, drenos e águas subterrâneas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Armazenar somente no recipiente original. •Evitar temperaturas extremas e luz solar direta. •Armazene em local bem ventilado. Mantenha em local fresco 	<ul style="list-style-type: none"> •Líquido combustível. •Formação de gases perigosos em caso de incêndio. •Corrosivo para o aço e ligas ferrosas.
Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃)	5,5 - 8	92,09	1,26	20	290	160 em câmara fechada	<p>Causa uma irritação suave da pele. Pode ser perigoso se for inalação. Pode causar uma irritação do aparelho respiratório. Pode ser perigoso se for engolido. Pode ser perigoso se for absorvido pela pele. Pode causar uma irritação dos olhos. Até onde sabemos, as propriedades químicas, físicas e toxicológicas não foram minuciosamente investigadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Dados não disponíveis. •Não permitir a entrada do produto no sistema de esgotos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Armazenar em local fresco. Guardar o recipiente hermeticamente fechado em lugar seco e bem ventilado. •Higroscópico 	<ul style="list-style-type: none"> •Liberação de óxidos de carbono. •Incompatível com bases fortes, agentes oxidantes fortes.

Tabela 2: Propriedades dos componentes utilizados.

(continuação)

Componentes	pH	Massa molar g/mol	Densidade g/cm ³	Ponto de fusão °C	Ponto de ebulição °C	Ponto de fulgor °C	Riscos à saúde	Riscos ao ambiente	Armazenamento	Perigos
Soda cáustica (NaOH)	14	39,997	2,13	Não aplicável	140	Não aplicável	Tóxico se ingerido. Pode ser nocivo se ingerido e penetrar nas vias respiratórias. Nocivo em contato com a pele. Provoca queimadura severa à pele e danos aos olhos. Pode provocar reações alérgicas na pele. Provoca lesões oculares graves	•Nocivo para organismos aquáticos.	•Conserve somente no recipiente original. •Armazene em local fechado à chave. •Armazene em local bem ventilado, longe da luz solar. Mantenha o recipiente fechado. Não é necessária adição de estabilizantes e antioxidantes para garantir a durabilidade do produto.	•Reage violentamente com ácidos fortes. •Corrosivo para metais. •A combustão do produto químico ou de sua embalagem pode formar gases irritantes e tóxicos.
Água destilada(H ₂ O)	5,0 - 7,5	18,02	1	0	100	Não aplicável	Produto atóxico.	•Produto atóxico e não nocivo ao meio ambiente.	•As embalagens de água destilada devem ser hermeticamente fechadas para garantir suas propriedades.	•Produto não classificado como perigoso pelo Sistema de classificação utilizado. •Produto não inflamável e não combustível. O aquecimento produzirá vapor d'água.

Tabela 2: Propriedades dos componentes utilizados.

(continuação)

Componentes	pH	Massa molar g/mol	Densidade g/cm ³	Ponto de fusão °C	Ponto de ebulição °C	Ponto de fulgor °C	Riscos à saúde	Riscos ao ambiente	Armazenamento	Perigos
Etanol	6,0 - 8,0	46,07	0,8	-117	79	13 em câmara fechada	<p>Provoca irritação ocular grave. Pode provocar defeitos genéticos. Pode prejudicar a fertilidade ou o feto. Pode provocar irritação das vias respiratórias. Pode provocar sonolência e vertigem. Provoca danos ao fígado por exposição repetida ou prolongada, se ingerido. Pode provocar danos ao sistema nervoso central, se ingerido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Evite que o produto derramado atinja cursos d'água e rede de esgotos. •Não descarte diretamente no meio ambiente ou na rede de esgoto. •A água de diluição proveniente do combate ao fogo pode causar poluição. 	<ul style="list-style-type: none"> •Mantenha afastado do calor, faísca, chama aberta e superfícies quentes. •Mantenha o produto em local fresco, seco e bem ventilado, distante de fontes de calor e ignição. O local de armazenamento deve conter bacia de contenção para reter o produto, em caso de vazamento. •Mantenha os recipientes bem fechados e devidamente identificados. •O local de armazenamento deve ter piso impermeável, isento de materiais combustíveis e com dique de contenção para reter em caso de vazamento. 	<ul style="list-style-type: none"> •Líquido e vapores extremamente inflamáveis. •Vapores podem formar misturas explosivas em contato com o ar. •Quando aquecido pode liberar gases irritantes e tóxicos. Recipientes podem explodir quando aquecidos. Risco de explosão em ambientes fechados. Resfrie recipientes fechados com água pulverizada.

Tabela 2: Propriedades dos componentes utilizados.

(conclusão)

Componentes	pH	Massa molar g/mol	Densidade g/cm ³	Ponto de fusão °C	Ponto de ebulição °C	Ponto de fulgor °C	Riscos à saúde	Riscos ao ambiente	Armazenamento	Perigos
Ésteres etílicos	7	88,11	0,896	-84,15	70	-4	Pode atingir olhos, pele e o trato respiratório. A exposição à vapores de éter etílico durante muito tempo causa embriaguez, levando à inconsciência. Após longa e grave exposição, pode ocorrer a morte devido à falha respiratória.	•O éter etílico se derramado em rios ou riachos irá consumir o oxigênio das águas, provocando a vida vegetal e animal que habitam nesses locais.	•O armazenamento do éter etílico deve ser construído em local frio, seco, bem ventilado, com proteção da luz solar direta e afastado de objetos ou equipamentos que possam gerar calor, faíscas, chamas ou centelhas. •O local deve possuir aterramento para escoamento da eletricidade estática, evitando o seu acúmulo. Também, o sistema de eletricidade deve ser construído com o material e equipamento à prova de explosão.	•Líquido inflamável e muito volátil •O éter etílico na presença de oxigênio formará peróxidos que podem explodir à temperatura em torno de 100 °C. •Por não ser condutivo pode gerar cargas estáticas que podem resultar em sua ignição ou explosão de seus vapores. •O éter etílico reage com materiais oxidantes.
Biodiesel **	7	Não disponível	0,8625	-12	330 - 357	152	Não disponível	Não disponível	Não disponível	Não disponível

* Dados aproximados para corrente composta por: H₂O (0,0300 em massa), Ácido palmítico (0,0800 em massa), Ácido mirístico (0,0200 em massa), Triglicerídeos (0,870 em massa), com propriedades muito semelhantes a outros óleos vegetais.

** Dados referentes ao biodiesel obtido a partir do óleo em estudo.

Fonte: Mancio, 2011; Gotaquímica, 2015; Verquímica, 2021; Bayer S.A. 2021; Hidromar, 2021; Quimidrol 2014; Petrobras 2019; Cosmoquímica, 2015; Carl Roth, 2019, 2020; Brisco, 2018; Concenção, 2014.

2.5.2. Análise dos equipamentos do processo

Neste tópico serão explicados brevemente os mecanismos de funcionamento para todos os equipamentos utilizados durante os processos estudados. Este conhecimento é de suma importância para validar os eventuais problemas que podem ocorrer nestes equipamentos e devem ser utilizados para validar as resoluções obtidas durante a aplicação das metodologias de análise de riscos.

2.5.2.1. Válvulas de controle de vazão.

Válvulas de controle de vazão são dispositivos mecânicos capazes de regular o fluxo do fluido gasoso ou líquido em uma tubulação. Existem vários tipos de válvulas responsáveis pelo controle do fluxo, podendo trabalhar em aberturas e fechamentos parciais. Cada uma apresenta uma especificidade distinta e seu uso dependerá da aplicação e tipo de processo envolvido. Tem-se as válvulas globo, esfera, gaveta, borboleta e de retenção, como as principais e mais utilizadas industrialmente. Sendo a gaveta e a esfera usualmente utilizada para bloqueio de fluxo, ou seja, totalmente aberta ou fechada. (Mathias, A. C., 2014)

Deve ser feita uma análise qualitativa e quantitativa ao escolher as válvulas, pois válvulas em excesso podem gerar perda de carga no processo, além do aumento de custo da planta. Normalmente as válvulas de regulação podem ser projetadas com um diâmetro menor que o da tubulação, por questões econômicas.

2.5.2.2. Válvula globo

Para realizar a regulação do fluxo da rota de produção de biodiesel em análise, é indicada a válvula globo, por ser condizente com as exigências das condições de processo. Indicada para o controle de fluxos de fluidos viscosos, que tendem se solidificar. Existem diferentes tipos, apesar de todas apresentarem forma globoidal, a convencional atua em processos de até 20 bar, para condições mais críticas há outros modelos (CASTRO e ERIKSSON, 2012).

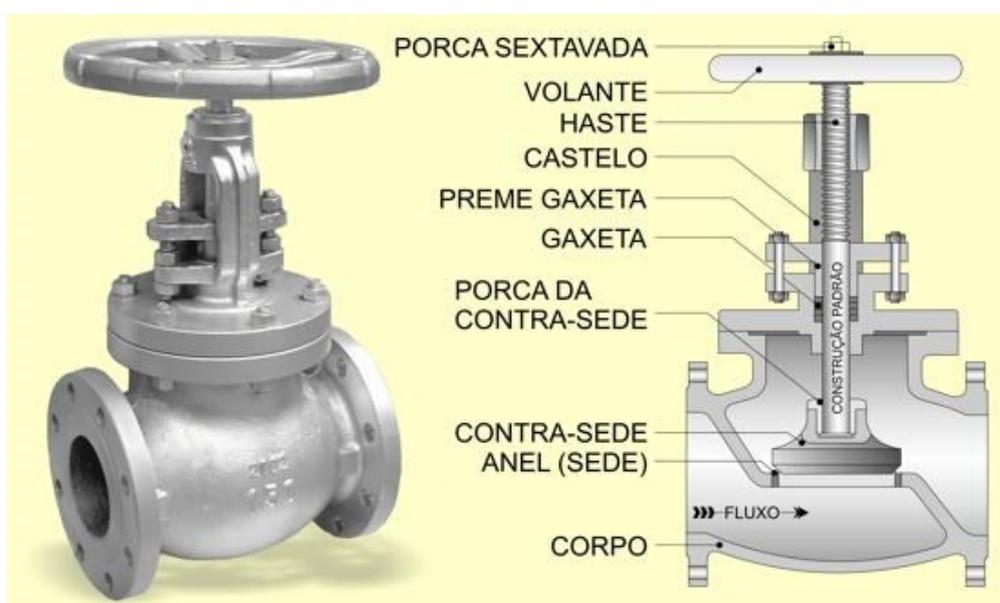
Entre a pressão à montante a pressão à jusante, há elevadas perdas de cargas localizadas, devido a posição do obturador. A perda de carga no processo pode gerar baixa eficiência, devido a perda de energia. Geralmente é de fácil manutenção e para alteração da característica de

controle. Indica-se mão de obra qualificada, a fim de garantir o alinhamento entre as partes do equipamento durante a operação, resultando no menor dano possível (CASTRO e ERIKSSON, 2012).

Caso a variação de pressão seja muito elevada, pode ocorrer a trepidação (*chattering*), sucessivos ciclos de abertura e fechamento que ocorrem em pequenos intervalos de tempo. Sendo assim, as paredes internas, gaxetas e juntas podem se chocar com a sede da válvula, resultando, no pior dos cenários, o rompimento dessas peças. (MATHIAS, 2014). Com isso, o alinhamento da válvula será desfeito, gerando a perda da vedação e originando o processo de desgaste interno, ocasionado pelo atrito entre as peças.

Também podem ocorrer os fenômenos de cavitação e *flashing*, nos quais acontecem quando o fluido líquido passa pelo orifício e atinge o ponto de maior velocidade da válvula. Neste ponto, o fluido atinge o pico máximo de velocidade e sua pressão reduz de forma inversamente proporcional. Caso a pressão de vapor do fluido se apresentar acima da pressão mínima, parte do líquido mudará para a fase gasosa. Se a pressão for inferior a pressão de vapor, será caracterizado o *flashing*, se for maior, a parcela gasosa existente voltará a ser líquida, caracterizando a cavitação. Isso gera pequenas implosões no interior da válvula, que com o passar do tempo, pequenos fragmentos são gerados, podendo contaminar o produto em processo e gerando ruídos (CASTRO e ERIKSSON, 2012). A figura 14 representa o mecanismo de funcionamento de uma válvula globo:

Figura 14: Exemplo de Válvula Globo com Haste e Volante Ascendente.



Fonte: Val Aço Acessórios Industriais Ltda., 2015.

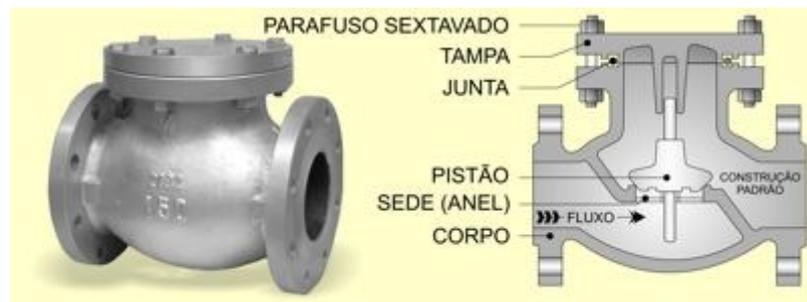
2.5.2.3. Válvula de retenção

Apresenta um mecanismo automático, que age sob a pressão média do fluido e seu próprio peso, sendo capaz de bloquear o fluxo reverso. É indicada para uma ampla faixa de pressão e temperatura. Seguindo as boas práticas de engenharia, deve-se colocar uma válvula de retenção na descarga de todas as bombas presentes na planta do processo.

É de suma importância ter o conhecimento da velocidade de escoamento do fluido na sede dessa válvula. Em um subdimensionamento da válvula, deve-se manter a mínima taxa de fluxo a montante da válvula com ao menos 70% em relação a sua vazão efetiva, nessa situação a velocidade na região do anel é superior ao recomendado, portanto deve ser evitada. Também deve-se evitar o superdimensionamento, devido a válvula parcialmente aberta gerada, no qual em baixas pressões, a perda de carga é elevada. Com isso, o fenômeno do *chattering* também pode ocorrer, podendo tornar o equipamento totalmente inoperante. Além de causar erosão no corpo e internos da válvula e na tubulação a jusante (CASTRO e ERIKSSON, 2012).

Na figura 15 abaixo, observa-se a representação de um tipo de válvula de retenção:

Figura 15: Exemplo de Válvula de Retenção Horizontal Flangeada



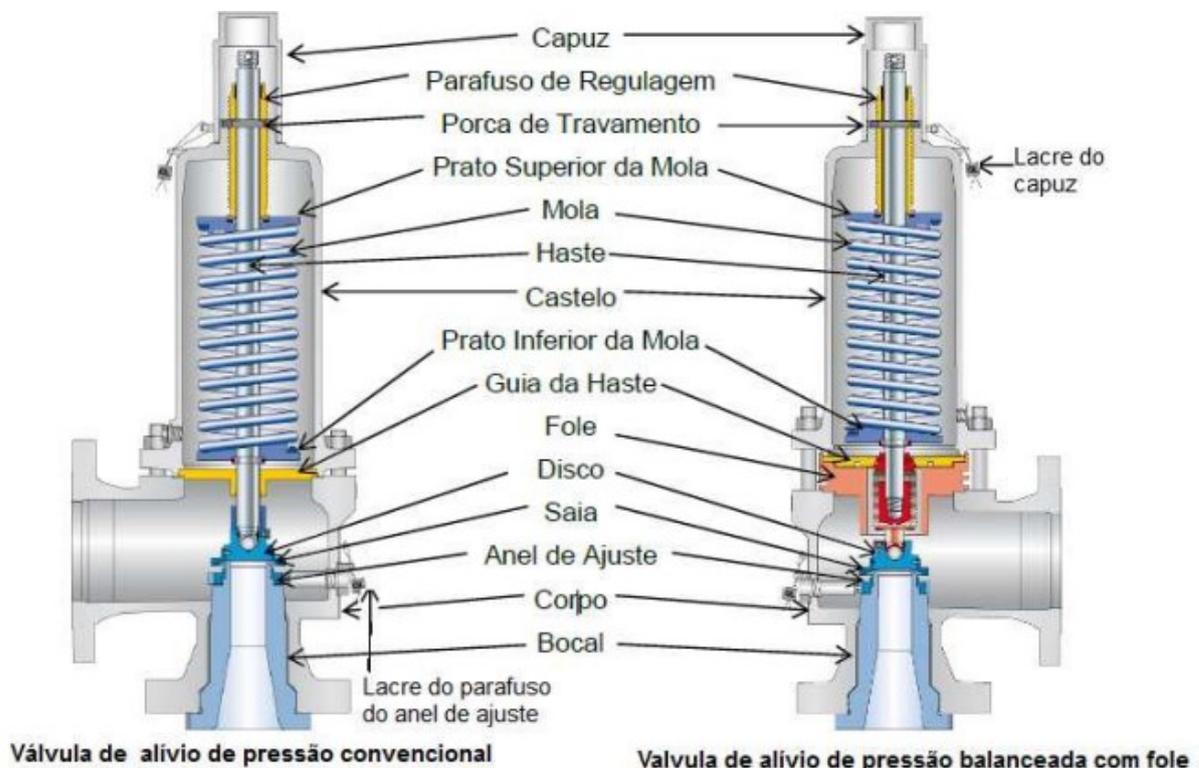
Fonte: Val Aço Acessórios Industriais Ltda., 2015.

2.5.2.4. Válvulas de alívio de pressão.

São os dispositivos mais utilizados para o alívio da pressão em tubulações. As válvulas de alívio projetadas para escoamentos de vapor e gases são denominadas como “Safety Valves” (PSV), ou “Relief Valves” (PRV) são aquelas utilizadas quando se tem líquidos como fluido de processo. E as serem utilizadas com ambos os fluidos, compressíveis e incompressíveis, são nomeadas como “Safety Relief Valves” (SRV). Caso a pressão do equipamento em que essa válvula estiver acoplada se apresentar superior a pressão limite, dada pela com a calibração, seu mecanismo automático é acionado liberando o fluido compressível, reduzindo a pressão do sistema. Se esse dispositivo falhar, pode gerar rachaduras e explosões no equipamento adjunto a ele.

O não funcionamento pode ser pela falta de calibração adequada, devido à ausência de manutenção. Pode ocorrer falha na abertura derivado da incrustação e sujeira em seu interior, e corrosão paredes interna e da mola, além da obstrução na conexão de saída (SANTO et al., 2002). A figura 16 indica os componentes encontrados neste tipo de válvula:

Figura 16: Nomenclatura dos componentes de válvula de alívio de pressão.

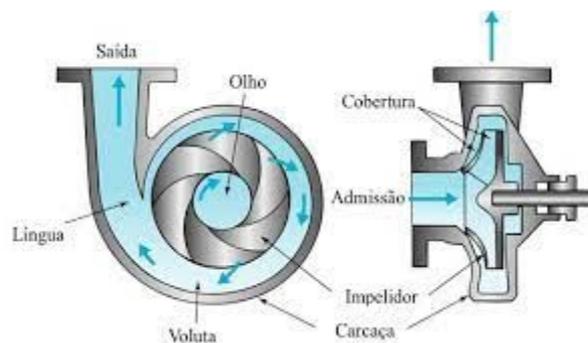


Fonte: LESER, 2019.

2.5.2.5. Bombas centrífugas.

Equipamento mecânico destinado a realizar a transferência de líquidos de um ponto para outro em uma tubulação, através do fornecimento de energia ao fluido. As bombas centrífugas são destinadas a processos que exijam altas vazões, pressões moderadas e fluxos contínuos. Para um bom desempenho desse dispositivo, é necessária instalação correta e manutenção adequada. A ausência de fluxo pode causar danos permanentes ao equipamento, isso pode ocorrer devido a problemas de vedação, gerando vazamento na carcaça da bomba. Além de problemas relacionados ao motor da bomba, devido a perda de lubrificação, refrigeração e contaminação por óleo (Alex, 2010). A seguir, a figura 17 detalha o funcionamento de uma bomba centrífuga:

Figura 17: Vistas em corte de uma bomba centrífuga.



Fonte: Adaptado de Potter e Wiggert, 2010.

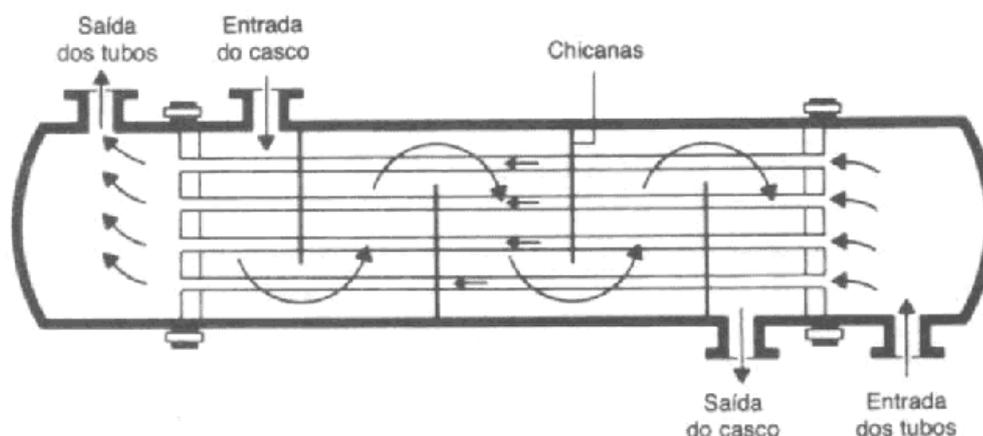
Problemas de cavitação podem ocorrer na bomba, esse fenômeno é descrito nos tópicos anteriores. A energia mecânica se transforma em energia térmica, podendo alterar a temperatura do fluido, além de gerar baixa eficiência no processo e ruídos. Caso não seja identificada a cavitação, a longo prazo pode gerar danos irreversíveis ao rotor da bomba, prejudicando o impulsionamento do líquido.

2.5.2.6. Trocadores de calor.

São equipamentos onde ocorre a transferência de energia em forma de calor entre dois ou mais fluidos, podendo haver sólidos em suspensão, por contato direto ou indireto. Existem vários tipos e configurações de trocadores de calor, sendo os mais usuais o de duplo tubo e casco tubo (figura 18) industrialmente. Os problemas mais comuns nesse equipamento são

ferrugem, corrosão, incrustação dos fluidos de processo e sobrecarga. Quando há umidade dentro e fora pode gerar ferrugem no metal do equipamento. Caso ocorra fadiga dos metais, corrosão ou defeitos relacionados a solda, pode ocorrer o vazamento do fluido, no qual pode ser intensificado caso as condições do processo estejam em altas pressões. Incrustação e ferrugem reduzem a capacidade térmica de troca de calor do trocador. O mesmo pode ocorrer se houver sobrecarga no equipamento, o sistema de aquecimento pode não funcionar adequadamente (INCROPERA et. al., 2008).

Figura 18: Trocador de calor do tipo casco e tubo.



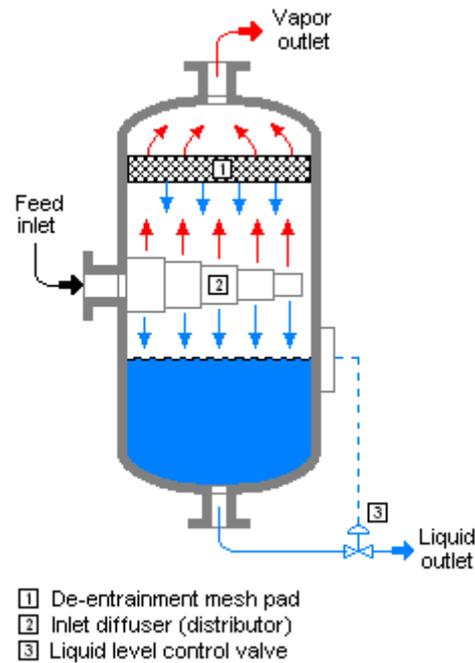
Fonte: Gut, 2003.

2.5.2.7. Vasos de separação flash.

Tais vasos são equipamentos de separação líquido-vapor que atuam de forma contínua e, portanto, são muito utilizados industrialmente na drenagem de condensados. Seu princípio de funcionamento é baseado em diferença de volatilidade dos compostos: o condensado entra em alta pressão, e é exposto a um vapor de baixa pressão que acarreta numa ação ciclônica, que arrasta e separa o vapor do condensado, assim como indicado na figura 19.

No caso de refinarias e processos semelhantes, funciona como um tratamento primário que antecede destilações posteriores. Este equipamento, por fazer apenas uma separação inicial -que seria correspondente a um estágio teórico de equilíbrio- não possibilita a formação de duas fases de purzas elevadas.

Figura 19: Representação do mecanismo de funcionamento de um vaso Flash



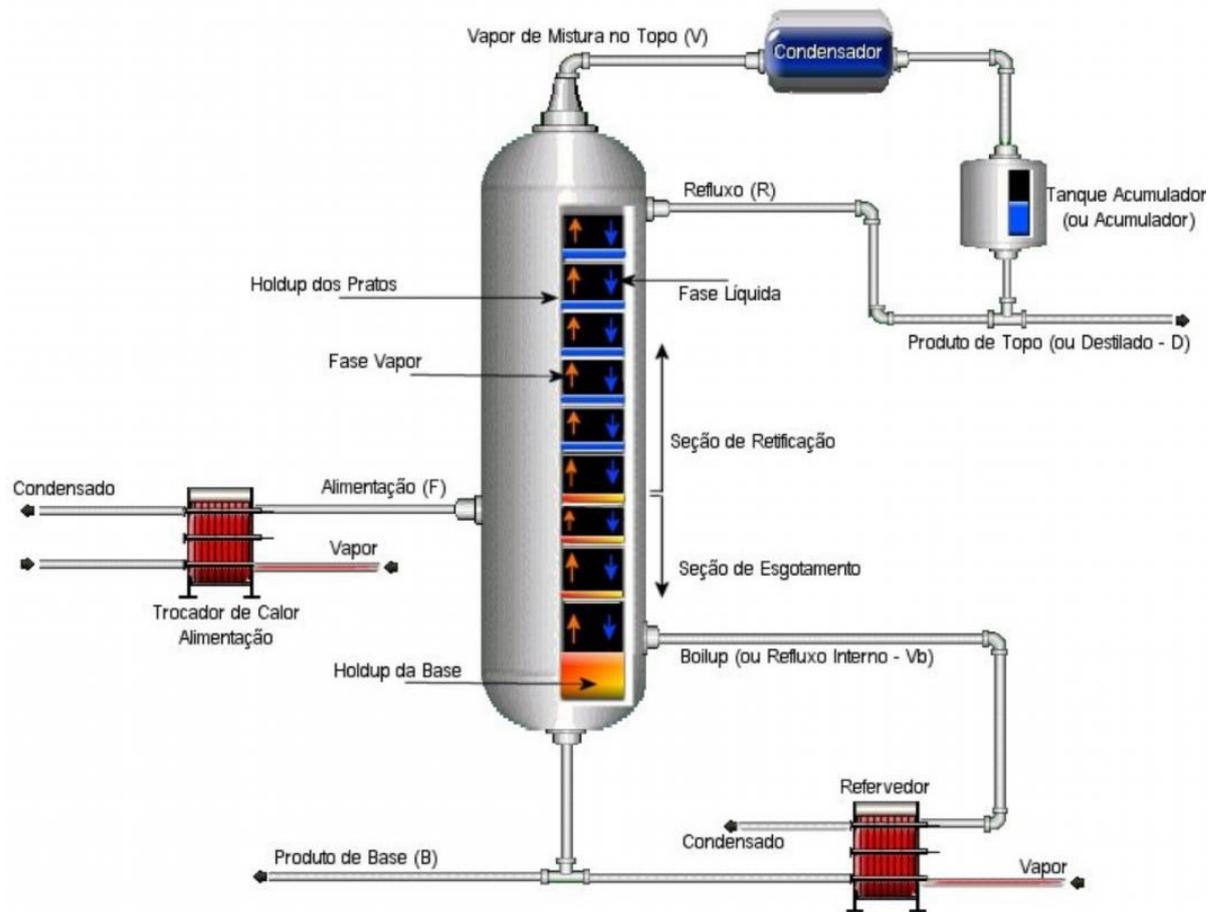
Fonte: Beychok, 2007.

Estes equipamentos necessitam de rígido controle de nível para que mantenham sua funcionalidade como o desejado, além de que pressões e temperaturas muito elevadas podem acarretar problemas na separação (Universidade de Coimbra, 2007).

2.5.2.8. Colunas de destilação.

Consistem em aparelhos verticais de destilação que funcionam no princípio da destilação fracionada. Este processo permite a possibilidade de trabalhar com altas quantidades de forma contínua, o qual faz com que seja, segundo Pulido (2011), um dos preferidos nas indústrias químicas e petroquímicas. Segue na figura 20 a representação de uma coluna de destilação:

Figura 20: Esquema de uma coluna de destilação



Fonte: Teleken, 2021.

Tais torres são separadas em pratos com número calculado com base na temperatura de operação e dos componentes a serem separados. Os pratos de uma coluna são divididos em suas seções:

a) Seção de esgotamento: consiste na seção de pratos abaixo do prato de entrada, e é nesta seção em que são retidos os componentes com maiores pontos de ebulição. O vapor desta seção é direcionado para os pratos superiores. A corrente de fundo é em parte reciclada para recuperação de componentes e em parte condensada para seguimento do processo;

b) Seção de retificação: é a seção dos pratos acima do prato de entrada, onde o vapor com os componentes mais voláteis é reciclado e reaquecido, sendo parte desta corrente de topo encaminhada para a próxima etapa.

As colunas de destilação possuem restrições de funcionamento inerentes, que devem ser monitoradas para que o equipamento esteja nas condições estabelecidas. As vazões devem ser

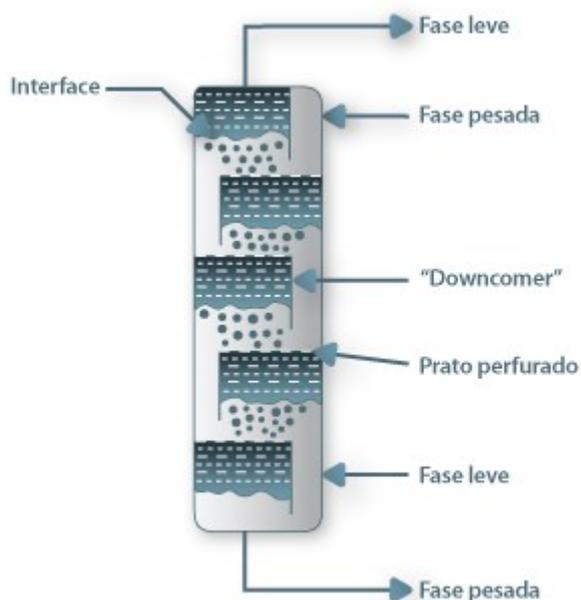
reguladas para que não ocorra gotejamento ou geração de pontos quentes, além de que necessita de um rigoroso controle de pressão.

2.5.2.9. Colunas de extração líquido-líquido.

A extração líquido-líquido é uma operação unitária onde é introduzida um solvente ao sistema (RABELO, 1995). Ele recupera os produtos desejados em uma mistura líquida, pois os produtos têm preferência de solubilidade no mesmo. A transferência de massa do soluto líquido ocorre da solução de alimentação para a fase solvente.

As etapas básicas de uma operação de extração são: Contato da alimentação com o solvente adicionado, separação das fases resultantes e remoção e recuperação do solvente de cada fase. Os problemas relacionados nesse equipamento são: Grande quantidade de volume, utilização de solventes tóxicos e controle de pressão. Na figura 21 abaixo pode-se encontrar uma demonstração deste do equipamento utilizado para a extração.

Figura 21: Coluna de pratos para extração líquido-líquido.



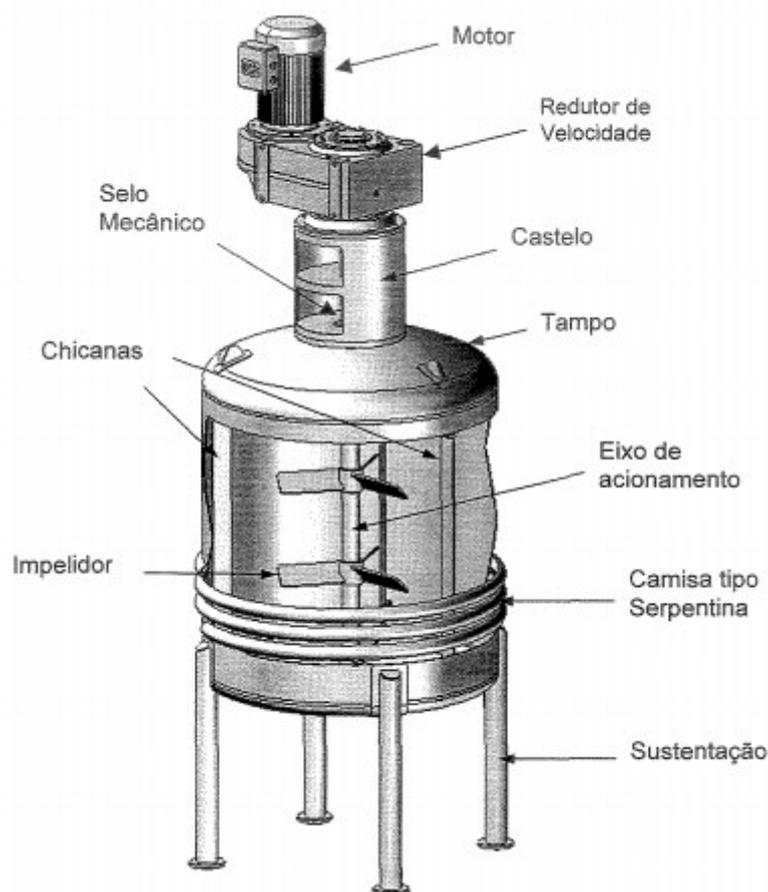
Fonte: Universidade De Coimbra 2007

2.5.2.10. Misturadores

Tem por objetivo promover o contato íntimo entre duas substâncias, podendo dispersar gases em líquidos (aeração); auxiliar na transferência de calor (convecção); auxiliar na transferência de massa (convecção); reduzir aglomerados de partículas e acelerar reações

químicas. Como riscos, pode-se citar a formação de vórtice para ocorrer derramamento de produto, entupimento das pás de agitação sobrecarregando o motor, vibração, ruídos e problemas elétricos. Um exemplo de misturador pode ser indicado pela figura 22 abaixo:

Figura 22: Exemplo de agitador mecânico



Fonte: BARBOSA, 2004

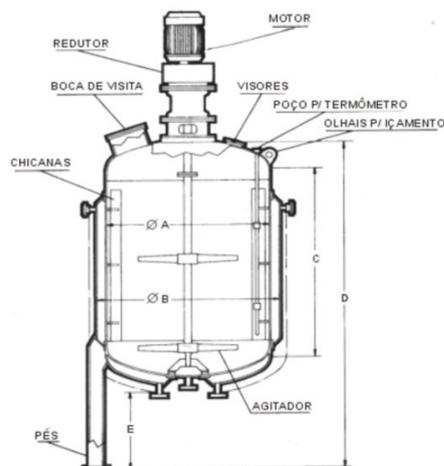
2.5.2.11. *Reatores químicos (CSTR)*

É um tanque agitado com escoamento contínuo e sem acúmulo de reagentes ou produtos onde ocorre reação química, conforme indicado pela figura 23.

Nesta etapa é importante saber as características físico-químicas, de reação, cinética e incompatibilidades das substâncias presentes. Ainda, uma avaliação a ser feita é a mudança de parâmetros de processo, como pressão, temperatura, concentração das substâncias e tempo de residência (AGOSTINI, 2006). Como modos de falha, podemos citar com base em estudos de engenharia química e os principais resultados obtidos por Agostini (2006), adaptados a seguir:

- 1) Liberação indesejada de substâncias perigosas, devido a corrosão das instalações, aumento da temperatura e pressão de operação acima dos limites de projeto das instalações.
- 2) Taxa de calor acima das condições de processo, devido a: falta de controle da cinética das reações, alimentação de reagente em excesso ou adição insuficiente do solvente, maior concentração dos componentes, aumento da temperatura de reação, falta ou excesso de inibidores, não consideração/desconhecimento de reações paralelas.
- 3) Acúmulo de reagentes, devido a taxa de alimentação inadequada, temperatura do reator muito baixa, iniciadores de reação inativos ou errados e agitação inadequada.
- 4) Acúmulo de produtos intermediários ou subprodutos com alta capacidade de decomposição, devido a mudança das condições operacionais sem levar em consideração o projeto original, insuficiente capacidade de resfriamento, área de troca de calor insuficiente ou coeficiente de transferência de calor muito baixo (alta viscosidade, agitação ineficiente).
- 5) Perda do controle das condições de reação causada por: falha operacional de equipamento, falha no controle, erros na carga do reator, fluxo reverso, contaminação do catalisador, matéria prima errada ou fora da especificação.
- 6) Aumento do tempo de residência no reator quando o processo é interrompido por falhas administrativas ou de equipamentos.
- 7) Reações secundárias, por exemplo: o Decomposição exotérmica dos produtos o Formação de misturas de gases no processo.

Figura 23: Modelo de um reator CSTR



Fonte: A. B. Ranazzi & Cia. Ltda., [s. d.].

3. OBJETIVO

Neste tópico estão explicitados os objetivos propostos para o presente trabalho.

3.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal para o presente trabalho foi analisar fluxogramas de síntese de biodiesel, utilizando a mesma rota homogênea de produção, porém cuja preparação da matéria prima foi realizada de duas formas diferentes, realizando as análises de riscos destes processos a partir dos P&ID's.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estão listados a seguir os tópicos tidos como objetivos secundários deste trabalho:

- a) Comparar a aplicabilidade, vantagens e desvantagens das metodologias utilizadas para as análises de risco dos processos;
- b) Definir a rota mais segura para operação da planta;
- c) Gerar um fluxograma de engenharia incluindo as recomendações sugeridas para a rota escolhida como mais segura.

4. METODOLOGIA

Neste tópico está exposta a metodologia utilizada para se obter os resultados expostos durante o presente trabalho na sequência com que foi conduzida.

4.1. DEFINIÇÃO DAS ROTAS PARA ESTUDO.

Para que se iniciem as análises de riscos definiu-se inicialmente um objeto de estudo. Para isso, consultaram-se acervos literários contendo trabalhos acadêmicos que possuísem a simulação de mais de uma das rotas da produção do biodiesel. É importante salientar que as rotas precisam ser semelhantes em seus processos e operações unitárias para que possa haver comparação entre as diferentes análises de risco nos diferentes processos. Sendo assim, optou-se por pesquisar duas rotas de catálise homogênea que possuam diferença apenas em uma das 3 etapas de produção – sendo elas: a preparação da matéria prima, a produção do biodiesel e a purificação dos produtos de reação para atendimento às normas locais.

4.2. PREPARAÇÃO DO MATERIAL DE ESTUDO.

Com o processo já bem definido foi necessário preparar os materiais e documentos necessários para desenvolver as análises de risco. Como os fluxogramas e os seus equipamentos estão disponíveis, o próximo passo foi a criação dos diagramas de engenharia (P&IDs) para que reflitam um processo real. Sendo assim, para que todos os equipamentos e controles de processos sejam fidedignos com uma planta real, consultaram-se especialistas na área de biotecnologia e instrumentação e controle de processos químicos e, com base em suas consultorias, criam-se os diagramas utilizados posteriormente no estudo, incluindo os controles básicos necessários, eventuais equipamentos extras para prevenir incidentes, entre outros objetos que não são demonstrados durante um estudo de simulação.

4.3. PREPARAÇÃO PARA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO.

Com todas as informações do processo disponíveis, preparou-se o material complementar para a análise de risco, que seria: o melhor conhecimento das correntes e equipamentos e a obtenção das informações adicionais para proceder com o estudo, tais como: Definição das matrizes de risco, determinação dos nós para o HAZOP, a determinação dos critérios de RPN para o FMEA e, por fim, os formulários utilizados para estes estudos. A metodologia utilizada para determinação destes pontos se encontra descrita abaixo:

4.3.1. Estudo das correntes de processo.

Durante uma análise de riscos é fundamental conhecer as correntes principais do seu processo, além de suas características básicas e fatores de risco. Estas informações são facilmente encontradas nas chamadas “Fichas de informação de produtos químicos” ou FISPQ. Para o presente estudo, os principais tópicos considerados durante as consultas estão listados a seguir:

- 1) Características físico-químicas do componente (Ponto de ebulição, ponto de fusão, ponto de fulgor, pH etc.)
- 2) características para armazenamento, estocagem e transporte;
- 3) Riscos à saúde humana;
- 4) Fatores de risco (exemplos: formação de atmosfera explosiva, formação de incrustação em tubulações específicas, entre outros).

4.3.2. Estudo dos equipamentos utilizados.

Para que a análise de risco seja condizente com a realidade é necessário que se conheçam os perigos provenientes dos equipamentos utilizados durante os processos, este conhecimento, por sua vez, vem do entendimento dos fenômenos que regem os equipamentos estudados, sendo assim, deve-se pesquisar pelos seguintes tópicos sobre cada um dos equipamentos utilizados no processo para que se possa seguir com uma análise de risco eficiente:

- 1) Mecanismos de funcionamento do equipamento;
- 2) Principais fatores de risco do equipamento;
- 3) Reações de causa e consequência para incidentes passíveis de acontecer.

4.3.3. Definição da Matriz de risco.

Para definir como se deve proceder após a identificação de um risco, uma matriz de riscos é de suma importância. Este dispositivo tem como função diferenciar os riscos aceitáveis dos não aceitáveis e sua obtenção se dá de forma subjetiva pelos organizadores da uma análise de risco. Nos próximos subtópicos serão demonstradas as matrizes utilizadas como parâmetro para elaboração dos estudos de HAZOP e FMEA.

4.3.3.1. Matriz de risco para HAZOP.

Durante o presente trabalho optou-se por criar uma matriz de risco para utilização da ferramenta HAZOP, baseando-se na explicação e exemplo contidos no item 2.3.1. Sendo assim a matriz utilizada durante os estudos seguintes pode ser representada abaixo pela figura 24 e pela tabela 3 a seguir. Onde, na matriz de probabilidade “quase certo” significa na eminência de acontecer e “raro” significa praticamente impossível de se acontecer. Na matriz de severidade “insignificante” significa que as consequências não interferem nos processos e “catastrófica” é referente a danos patrimoniais e ou a vida dos funcionários de forma severa. Classificações intermediárias, para ambos os casos, são referentes a gradação atribuída entre o menor e maior nível.

Usualmente, classificações de probabilidade são referenciadas pela quantidade de vezes que um incidente aconteceria em um determinado período, e severidade pode ser mensurada pelo percentual de perda financeira em relação ao patrimônio da companhia. Porém, como neste caso, trata-se de uma simulação, e as informações usuais de classificação não estariam disponíveis, e sim deveriam ser estimadas, optou-se por seguir conforme descrito.

Figura 24: Matriz de riscos para HAZOP.

Probabilidade	Severidade				
	Insignificante	Pequena	Moderada	Grande	Catastrófica
Raro	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo
Improvável	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho
Possível	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho
Provável	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho
Quase certo	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho

Fonte: Autor

Tabela 3: Interpretação da matriz de risco HAZOP

Cor	Situação do risco
Verde	Aceitável / Transferível
Amarelo	Inaceitável: Requer implementação de melhoria
Vermelho	Crítico: Recomenda-se a implementação de melhorias urgentemente e/ou parada do processo

Fonte: Autor

4.3.3.2. Matriz identificadores para FMEA

Diferentemente do item anterior, o FMEA não possui matrizes de risco, mas sim identificadores de severidade, ocorrência e identificação e a multiplicação destes três fatores, que resulta no fator RPN. Riscos com valores de RPN acima do estabelecido como crítico se referem a riscos que devem ser mitigados. Para determinar tais identificadores utiliza-se como metodologia os parâmetros indicados e concatenados por Fernandes (2021) (Figuras 25, 26 e 27). O valor crítico para o RPN também segue a metodologia de Fernandes (2021) e de Saxer (2015) ambos de áreas de informações diferentes, porém que utilizam 100 como limite de RPN aceitável.

Figura 25: Tabela de severidade para estudo FMEA

Tabela de Severidade				
Efeito no produto	Efeito no processo	Efeito no cliente final	Efeito na manufatura / montagem	Índice
Falha pode afetar a segurança e/ou requisitos regulamentares		O modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio (alarme/advertência)	Pode por em perigo o operador (máquina ou montagem) sem aviso prévio (advertência / alarme)	10
		O modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio (advertência/alarme)	Pode por em perigo o operador (máquina ou montagem) com aviso prévio (advertência / alarme)	9
Perda ou degradação da função primária	Interrupções maiores	Perda das funções primárias (produto inoperável - não afeta a segurança na operação do produto)	100% dos produtos podem ter que ser sucateados. Linha pode parar ou parar a entrega	8
	Interrupções significativas	Degradação das funções primárias (produto operável - mas com níveis de desempenho bastante reduzidos)	Uma parte da produção pode ser sucateada. Desvios do processo primário incluindo redução da velocidade da linha e aumento da força de trabalho	7
Perda ou degradação da função secundária	Interrupções moderadas	Perda das funções secundárias (produto operável - mas itens de conforto/estéticos/de conveniência inoperáveis)	100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados fora da linha e aceitos	6
		Degradação das funções secundárias (produto operável - mas itens de conforto/estéticos/de conveniência com nível de desempenho bastante reduzidos.	Uma parte da produção pode ter que ser retrabalhada fora da linha e aceita	5
Prejuízo / Incômodo	Interrupções moderadas	Aparência ou barulhos audíveis. Produto operável, item não adequado e notado pela maioria dos clientes (mais que 75%)	100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados no posto antes de ser processado	4
		Aparência ou barulhos audíveis. Produto operável, item não adequado e notado pela maioria dos clientes (mais que 50%)	Uma parte da produção pode ter que ser retrabalhada no posto antes de ser processado	3
	Interrupções menores	Aparência ou barulhos audíveis. Produto operável, item não adequado e notado pela maioria dos clientes (mais que 25%)	Pequena inconveniência para o processo, operação ou operador	2
Nenhum efeito		Sem efeito identificado	Nenhum efeito perceptível	1

Fonte: Fernandes, 2021

Figura 26: Tabela de ocorrência para estudo FMEA

Tabela de Ocorrência			
Probabilidade de Falha	Vida útil do projeto / confiabilidade do item / produto	Incidentes por produto / itens	Índice
Muito alta	Nova tecnologia / novo projeto sem histórico	≥ 100 em 1000 ≥ 1 em 10	10
Alta	Falha é inevitável com novo projeto, nova aplicação ou mudanças obrigatórias / condições de operação	50 em 1000 1 em 20	9
	Falha é provável com novo projeto, nova aplicação ou mudanças obrigatórias / condições de operação	20 em 1000 1 em 50	8
	Falha é incerta com novo projeto, nova aplicação ou mudanças obrigatórias / condições de operação	10 em 1000 1 em 100	7
Moderada	Falha frequentes associadas com projetos similares ou em simulações de projetos e testes	2 em 1000 1 em 500	6
	Falha ocasionais associadas com projetos similares ou em simulações de projetos e testes	0,5 em 1000 1 em 2000	5
	Falha isoladas associadas com projetos similares ou em simulações de projetos e testes	0,1 em 1000 1 em 10 000	4
Baixa	Apenas falhas isoladas associadas com projetos quase idênticos ou em simulações de projetos e testes	0,01 em 1000 1 em 100 000	3
	Não observadas falhas ocasionais associadas com projetos quase idênticos ou em simulações de projetos e testes	$\leq 0,001$ em 1000 1 em 1 000 000	2
Muito baixa	Falhas são eliminadas através de controles preventivos (poka-yoke)		1

Fonte: Fernandes, 2021

Figura 27: Tabela de detecção para estudo FMEA

Tabela de Detecção					
Oportunidade de Detecção no Projeto	Oportunidade de Detecção no Processo	Probabilidade de detecção pelo controle de projeto	Probabilidade de detecção pelo controle de processo	Probabilidade de Detecção	Índice
Nenhuma oportunidade de detecção	Nenhuma oportunidade de detecção	Nenhum controle no projeto atual; Não pode detectar ou não é verificado		Quase impossível	10
Não há probabilidade de detectar em qualquer estágio	Não há probabilidade de detectar em qualquer estágio	Análise de projeto / controles de detecção tem capacidade fraca da detecção. A análise virtual não é correlacionada às condições de funcionamento reais previstas.	Modo de falha e/ou erro (causa) não é facilmente detectado	Muito Remota	9
Após o projeto "congelado" e priorizado para lançamento	Detecção do problema após o processamento	Verrificação / validação de produto após projeto "congelado" e priorizado para lançamento com teste passa / não passa	Detecção do modo de falha após o processamento pelo operador através dos sentidos (visão, audição, tato, olfato)	Remota	8
	Detecção do problema na fonte	Verrificação / validação de produto após projeto "congelado" e priorizado para lançamento com teste para verificar falhas	Detecção do modo de falha no posto de trabalho pelo operador através dos sentidos ou após o processamento através de dispositivos por atributos (passa/não passa, verificação de torque manual, etc.)	Muito Baixa	7
	Detecção do problema após o processamento	Verrificação / validação de produto após projeto "congelado" e priorizado para lançamento com teste para degradação	Detecção do modo de falha após o processamento pelo operador através de dispositivos variáveis ou no posto de trabalho através de dispositivos por atributos (passa/não passa, verificação de torque manual, etc.)	Baixa	6
Antes de o projeto "congelar" e priorizar para lançamento	Detecção do problema na fonte	Validação de produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento e validação) antes de "congelar" o projeto utilizando teste passa / não passa	Detecção do modo de falha ou erro (causa) no posto de trabalho pelo operador através de dispositivos variáveis ou por controles automáticos no posto que irão detectar peças discrepantes e notificar ao operador (luz, som, etc). Performance do dispositivo no setup e verificação da primeira peça (para causas de setup somente)	Moderada	5
	Detecção do problema após o processamento	Validação de produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento e validação) antes de "congelar" o projeto utilizando teste para verificar falhas (ex. vazamento, trincas, etc.)	Detecção do modo de falha após o processamento por controles automáticos que irão detectar peças discrepantes e automaticamente bloquear peças para favorecer processamento preventivo	Moderadamente Alta	4
	Detecção do problema na fonte	Validação de produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento e validação) antes de "congelar" o projeto utilizando teste de degradação	Detecção do modo de falha no posto de trabalho por controles automáticos que irão detectar peças discrepantes e automaticamente bloquear peças no posto para favorecer processamento preventivo	Alta	3
Análise virtual correlacionada	Detecção de erros e/ou prevenção de problemas	Análise de projeto / controles de detecção tem capacidade forte de detecção. A análise virtual é altamente correlacionada às condições de funcionamento esperadas antes de "congelar" o projeto.	Detecção de erro (causa) no posto de trabalho por controles automáticos que irão detectar erros e prevenir peças discrepantes de serem fabricadas	Muito Alta	2
Detecção não aplicável: prevenção de falhas		Causas da falha ou modo de falha não podem ocorrer porque há prevenção através de soluções de projeto	Prevenção de erro (causa) como resultado do projeto do dispositivo, máquinas ou peças. Peças discrepantes não podem ser produzidas porque o item está sendo produzido a prova de erro projetado para o processo / produto	Quase Certa	1

Fonte: Fernandes, 2021

4.3.4. Determinação dos nós e palavras-chave para o procedimento HAZOP.

Toda a execução da metodologia HAZOP depende dos nós definidos e das palavras-chave aplicadas, caso o estudo possua mais nós do que o necessário acaba-se onerando muito os integrantes da análise, além de não se obter resultados satisfatórios. Por outro lado, uma quantidade pequena de nós pode acarretar uma análise sem a profundidade requerida. Com base nisso, decidiu-se utilizar a distribuição dos nós com base nas pequenas etapas do processo, normalmente definidas por até 3 operações unitárias distintas. Desta forma, pode-se observar a visão macroscópica do processo e ainda assim captar pontos de perigo mais sutis. Esta metodologia foi observada durante o trabalho de Tejada et al. (2019) com um resultado muito exitoso.

Quanto as palavras-chave, a mesma lógica dos nós se aplica: a falta de boas palavras-chave gera um resultado falho e pouco condizente com a realidade, enquanto palavras-chave demais geram um trabalho muito oneroso e de baixa eficiência, sendo assim, optou-se por unificar e adaptar as palavras-chave presentes na figura 1, uma vez que a consequência de algumas das palavras usadas seria exatamente outra palavra, gerando assim retrabalho durante o estudo - por exemplo, a temperatura baixa de uma corrente (identificada pelo parâmetro temperatura e palavra menos) faria com que não houvesse uma reação química, que é exatamente o parâmetro reação com palavra zero. O resultado desta alteração está disponível na tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Palavras-chave utilizadas para análise HAZOP.

Parâmetro	Palavra-Chave	Desvio
Fluxo	Zero	Nenhum fluxo
Fluxo	Menos	Menos fluxo
Fluxo	Mais	Mais fluxo
Fluxo	Também	Contaminação
Pressão	Menos	Pressão baixa
Pressão	Mais	Pressão alta
Temperatura	Menos	Temperatura baixa
Temperatura	Mais	Temperatura alta

Fonte: Adaptado de Aguiar (2014)

4.4. APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE RISCO.

Durante o presente projeto serão analisadas duas rotas de produção de biodiesel por meio de duas técnicas diferentes de análise de risco, sendo assim, o processo 1 deve ser analisado pela ferramenta HAZOP enquanto o processo 2 utilizará a ferramenta FMEA. A metodologia padrão utilizada para ambas as ferramentas é a mesma: reunião dos responsáveis pelo projeto, munidos com os dados gerados e obtidos (vide tópicos de metodologia acima) e discussão dos riscos até que se haja um consenso. Todas as reuniões são ministradas por um facilitador, cuja função é mediar as discussões e orientar para a chegada dos melhores resultados, sem envolvimento com as discussões de risco, para que haja isenção de ideias por parte deste integrante. As metodologias individuais de cada um dos métodos de análise estão disponíveis durante a revisão bibliográfica que trata destes mesmos temas.

Por fim, é necessário que haja um formulário de aplicação para cada uma destas ferramentas, sendo assim, concatenando ideias e nuances captadas pelos modelos apresentados durante a revisão bibliográfica, criou-se um modelo para cada uma das análises de risco, estes modelos estão presentes nas figuras 28 e 29 a seguir:

Figura 28: Modelo Para Aplicação do HAZOP

HAZOP - Identificação de Perigos e Operabilidade									
Número do HAZOP					Data				
Revisão					Responsáveis				
Rota de Produção					Revisado por				
Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações

Fonte: Autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico estão apresentados todos os resultados obtidos durante o presente trabalho -em sua ordem de elaboração- também estão propostas discussões sobre tais resultados e, por fim, propostas/sugestões de melhorias foram feitas.

5.1. DEFINIÇÃO DAS ROTAS ESTUDADAS

Sabe-se que o biodiesel é um produto que vem se destacando muito no Brasil, principalmente devido as constantes e crescentes adições de tal combustível na composição do diesel comercializado. Atualmente existem várias formas para a síntese deste biocombustível, tais como as catálises ácidas, básicas e enzimáticas. Devido a isso, existem inúmeros projetos para o desenvolvimento de melhorias para estes processos, por exemplo: a proposição de novas rotas de produção, métodos mais ecológicos de síntese (como a catálise enzimática), mudança de reagentes, entre outros.

Com base nos fatores mencionados, optou-se por seguir as análises de risco de acordo com uma proposta do uso de óleo de microalgas como reagente na síntese de biodiesel, tal proposta se encontra no trabalho “SIMULAÇÃO DE PROCESSO DE PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE MICROALGAS” desenvolvido por Mancio (2011). A escolha desta dissertação foi assumida como ideal pois, com base nela, temos informações suficientes sobre as condições de processo, além dos fluxogramas iniciais, que são ferramentas de suma importância para a análise de riscos.

Sendo assim, para a elaboração do presente trabalho foram utilizados fluxogramas para a síntese de biodiesel pela transesterificação de óleo de microalga, sendo a diferença entre estas a forma com que a matéria prima foi preparada (reação de esterificação vs. acidificação física). Ambas as formas estão melhor detalhadas nos tópicos subsequentes a este. Como o objetivo deste estudo também contempla avaliar mais de uma metodologia de análise de risco, a utilização de duas plantas semelhantes permite que sejam feitas comparações entre métodos, gerando assim uma conclusão plausível.

5.2. PROCESSO 1 – PREPARAÇÃO DO ÓLEO DE MICROALGA POR ESTERIFICAÇÃO COM METANOL

Foi definido como processo 1 a rota que propõe a preparação do óleo da microalga *Phaeodactylum tricornutum* por meio da reação de esterificação, utilizando metanol. As etapas de síntese de biodiesel, via catálise básica, e a purificação do produto são semelhantes nos dois processos. A figura 30 a seguir demonstra a rota proposta e simulada por Mancio (2011), os equipamentos presentes na simulação podem ser sumarizados pela tabela 5.

Tabela 5: Equipamentos presentes no fluxograma do processo 1

Tipo de equipamentos	Unidades	Código	Descrição
<i>Pré-tratamento do óleo</i>			
Reator	1	CRV-100	Reação de esterificação
Bombas	3	P-100 P-101 P-102	
Válvulas	2	VLV-100 VLV-101	
Misturadores	3	MIX-100 MIX-101 MIX-102	
Trocadores de calor	4	E-100 E-101 E-102 E-103	
Separador flash	1	V-100	Remoção de água
Coluna de destilação	1	T-100	Recuperação de álcool
Coluna de extração líquido-líquido	1	T-101	Remoção das impurezas
Unidade de operação lógica	1	RCY-1	
<i>Produção, separação e purificação do biodiesel</i>			
Reatores	1	CRV-101	Reação de transesterificação
Bombas	3	P-103 P-104 P-105	
Válvulas	2	VLV-102 VLV-103	
Misturadores	3	MIX-103 MIX-104 MIX-105	
Trocadores de calor	6	E-104 E-105 E-106 E-107 E-108 E-109	
Separador flash	2	V-101 V-102	Remoção de álcool Remoção de impurezas
Coluna de destilação	1	T-102	Recuperação de álcool
Coluna de extração líquido-líquido	1	T-103	Lavagem com água
Unidade de operação lógica	1	RCY-2	

Fonte: Mancio, 2011.

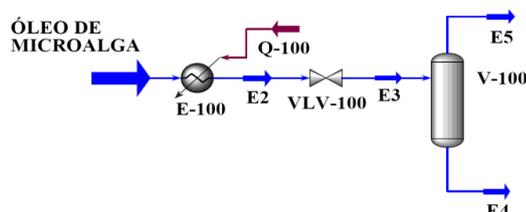
5.2.1. Descritivo do processo 1

No presente tópico serão expostas as etapas envolvidas no fluxograma do processo 1 (figura 20) bem como as condições de operação dos equipamentos e de suas correntes de entrada e saída.

5.2.1.1. Remoção de água

Tendo como base a figura 31, o processo se inicia pela corrente de óleo de microalga, que é aquecida por meio do trocador de calor E-100 até a temperatura de 110 °C e pressão de 101,3 kPa, gerando assim a corrente “E2”. Esta corrente é despressurizada por meio da válvula de alívio de pressão VLV-100 saindo com a pressão efetiva de 50 kPa (corrente “E4”), alimentando assim o vaso flash (V-100), que opera a 109 °C e 50 kPa. A saída deste vaso contempla as correntes “E5” composta quase inteiramente por água, e a corrente “E4” que possui o óleo de microalga com pouca quantidade de água – aproximadamente 0,045% (MANCIO, 2011).

Figura 31: Etapa de remoção de água do processo 1



Fonte: Mancio, 2011.

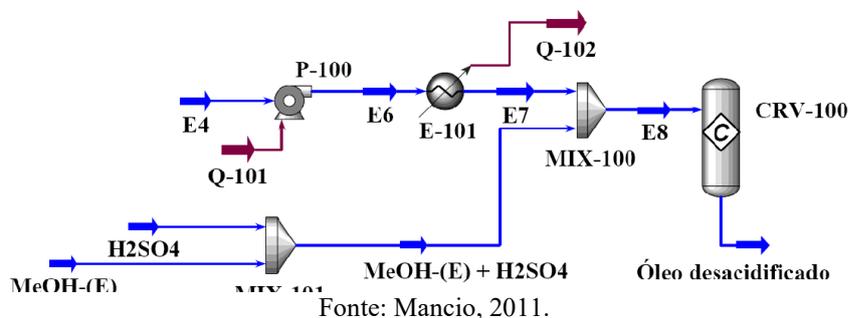
5.2.1.2. Reação de esterificação

A corrente de saída do vaso flash (“E4”) é bombeada por meio da bomba centrífuga P-100 e posteriormente resfriada a 71 °C pelo trocador de calor E-101, gerando assim a corrente “E7”. Esta corrente segue para o misturador MIX-100, que é abastecido pelo produto do misturador MIX-101. Este misturador, por sua vez, adiciona ácido sulfúrico a corrente de saída do misturador MIX-102, que é composta pela reposição de metanol puro (corrente “Make-up (MeOH)”), que se une com a corrente “E13”. A união destas correntes forma a carga do reator CRV-100 (corrente “E8”), que tem como função realizar a reação de esterificação com metanol,

esta reação tem o intuito de remover os ácidos graxos livres (AGL) da corrente de óleo de microalgas. O reator opera a 63,8 °C e 101,3 kPa (condições próximas as necessárias para ebulição do metanol). Ainda para corrente “E8” temos uma relação de 1% de ácido sulfúrico em relação a massa de óleo, além de uma razão molar metanol/óleo de 6/1.

Segundo Mancio (2011), ao assumir uma conversão de 100% no reator, a corrente denominada de “óleo desacidificado” não contém teor algum de AGL, resultando assim uma obtenção de 8,57% de ésteres metílicos. A saída do reator possui metanol, água, ácido sulfúrico, biodiesel e TG, como demonstrado na figura 32 abaixo.

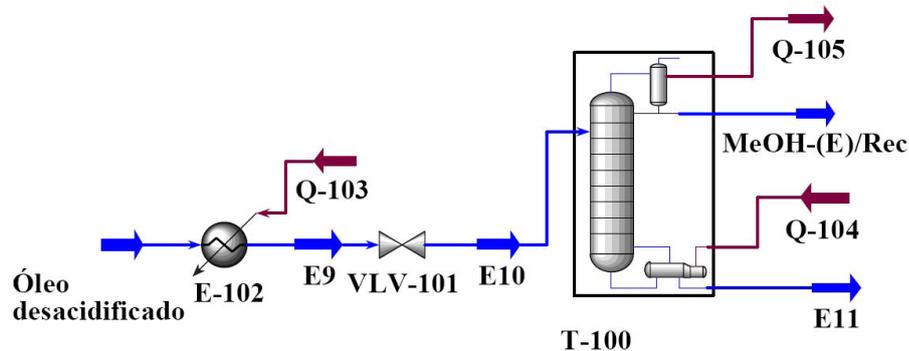
Figura 32: Etapa de esterificação para o processo 1



5.2.1.3. Recuperação do metanol

Com base na figura 33, após a remoção dos ácidos graxos livres presentes na corrente “E8”, a corrente “óleo desacidificado” é aquecida a 75°C por meio do trocador de calor E-102, esta corrente é posteriormente despressurizada pela válvula VLV-101 até 70 kPa, gerando assim a corrente “E10”, que é direcionada para a coluna de destilação T-100 para que o excesso de metanol seja recuperado. Esta corrente opera com 6 estágios teóricos, razão de refluxo igual a 1 e a uma pressão de 70 kPa, gerando assim as correntes “MeOH – (E)/Rec” e “E11”. A corrente de destilado possui aproximadamente 97,4% do excesso de metanol e uma pequena quantidade de água. Esta corrente é bombeada pela bomba P-101 e reciclada para o reator de esterificação (CRV-100) (MANCIO, 2011).

Figura 33: Etapa de recuperação do metanol



Fonte: Mancio, 2011.

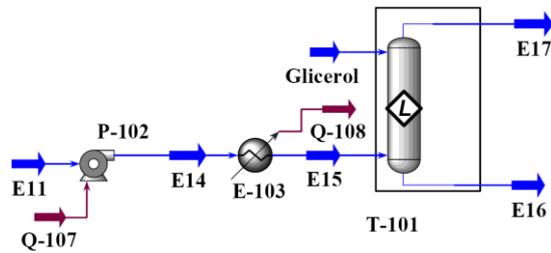
A corrente “E11” que sai do fundo da coluna de destilação T-100 possui o óleo de microalga desacidificado, o metanol não recuperado, ésteres metílicos, água e ácido sulfúrico.

Vale salientar que seis estágios teóricos para uma coluna de separação parecem pouco para um equipamento real, entretanto, para manter os critérios e a forma da planta, decidiu-se seguir com a metodologia proposta por Mancio (2011). Uma alternativa que poderia ser estudada é a substituição deste equipamento (T-100) por um vaso de separação Flash, ou por algum outro equipamento que atenda as normas do processo e possua uma relação custo-benefício mais vantajosa.

5.2.1.4. Lavagem com glicerol

As impurezas restantes do reator CRV-100 que se mantêm presentes na corrente de óleo desacidificado precisam ser removidas para que a reação de transesterificação possa ser iniciada. Para isso, de acordo com a figura 34 a seguir, a corrente de fundo da coluna de destilação (“E11”) é bombeada pela bomba P-102 e resfriada por meio do trocador de calor E-103 até uma temperatura de 25 °C, resultando na corrente “E15” que é enviada para a coluna de extração líquido-líquido (T-101). Esta coluna opera a 25 °C e 101,3 kPa, possui 6 estágios teóricos e usa como solvente glicerol a mesma temperatura e pressão (MANCIO, 2011).

Figura 34: Lavagem glicerol



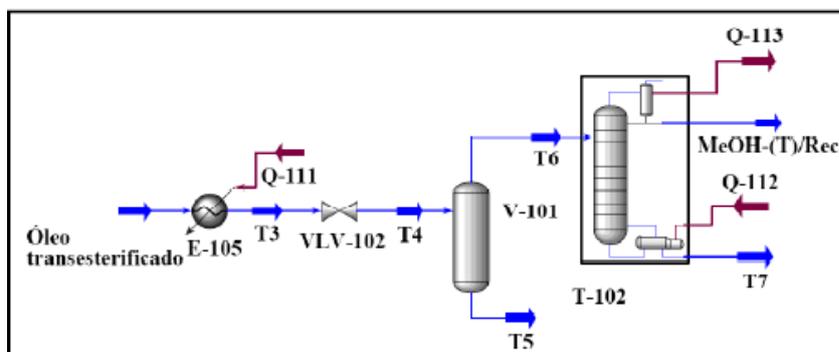
Fonte: Mancio, 2011.

A corrente de fundo do equipamento T-101 (corrente “E16”) é composta por metanol, água e ácido sulfúrico, que são todos componentes considerados como impurezas. Já a corrente de topo da coluna é constituída por triglicerídeos, ésteres metílicos, e traços de glicerol, o que torna esta corrente apta para a reação de transesterificação.

5.2.1.5. Reação de transesterificação

O óleo de microalga já tratado (corrente “E17”) é levado para um trocador de calor (E-104) para que seja aquecido até 82,3 °C, gerando assim a corrente “T1”, que será misturada pelo misturador MIX-103 com a corrente que vem do misturador MIX-105, esta corrente, por sua vez, é feita pela adição de soda caustica a corrente de saída do misturador MIX-104 que é composta pelas correntes “T17” e a adição de metanol (corrente “Make-up (MeOH*)”). Como indica a figura 35, a união destas correntes gera a saída “T2” que alimenta o reator de transesterificação (CRV-101), neste reator a soda caustica é empregada como catalisador e o metanol é o álcool utilizado para a reação. A temperatura de operação é de 64,65 °C (temperatura de ebulição do metanol a 101,3 kPa) e a pressão é de 101,3 kPa. O catalisador possui 1% em massa em comparação ao óleo e a razão molar metanol/óleo é de 6/1.

Figura 36: Etapa de recuperação do metanol



Fonte: Mancio, 2011.

A corrente T6 é constituída por metanol, glicerol e ésteres metílicos, sendo assim, direciona-se esta corrente para a coluna de destilação T-102 onde serão separados o metanol dos demais componentes. Esta coluna opera a 40 kPa com 3 estágios teóricos e seus produtos são a corrente “T7” que possui os resíduos da reação enquanto a corrente “MeOH-(T)/Rec” possui metanol puro, também considera-se que apenas 0,04% da porcentagem total de ésteres metílicos que entram no separador flash são enviados para a corrente “T6”, sendo assim, considera-se como se não houvesse perda de tal produto reacional (MANCIO, 2011).

Por fim, a corrente de metanol recuperado pode ser bombeada pela bomba P-104 e reciclada junto da adição de um “Make-up” de metanol para que sirvam como reagente no reator de transesterificação, conforme exposto no tópico 5.2.1.5. Enquanto a corrente “T5” (corrente de fundo do separador flash V-101) pode ser considerada com biodiesel e os demais produtos da mistura reacional.

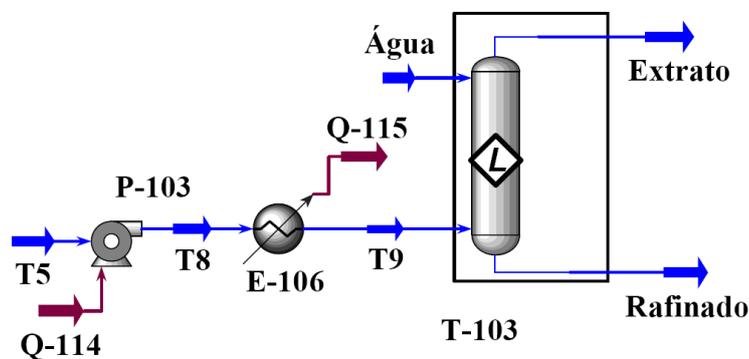
Vale salientar que, durante esse processo, as mesmas considerações feitas para o equipamento T-100 (disponíveis no tópico 5.2.1.3.) podem ser adotadas para o equipamento T-102. Neste caso, nota-se que a quantidade de estágios teóricos é ainda menor do que na coluna T-100, contendo apenas 3 estágios. Por conta disso, a substituição deste equipamento tende a ser ainda mais simples em comparação com a outra coluna mencionada. Outra possibilidade é a unificação do vaso V-100 com a coluna T-102 por meio de uma outra coluna maior dimensionada. Conforme mencionado, esta hipótese apresentou dificuldades durante sua simulação o que a fez ser substituída pelo layout apresentado por Mancio (2011).

5.2.1.7. Lavagem com água.

Com a finalidade de purificar o biodiesel deve-se lavar a corrente “T5” com água. Para isso, tal corrente é bombeada pela bomba centrífuga P-103 e resfriada por meio do trocador de calor E-106 resultando em uma corrente “T9” a 25 °C que é direcionada para uma coluna de extração líquido-líquido que opera a mesma temperatura da corrente e com pressão de 101,30 kPa e 10 estágios.

A água é utilizada para remover o catalisador, metanol, o óleo não reagido e principalmente o glicerol, segundo Mancio (2011) a razão mássica entrada/água é de 1/3. A corrente de topo, denominada “Extrato” possui o biodiesel lavado com resquícios de água, enquanto a corrente de “Refinado” possui a maior parte da água junto dos resquícios da reação. Vale salientar que, do ponto de vista da operação unitária de extração líquido-líquido a fase de extrato seria aquela rica em solvente- neste caso, água, que em comparação com a carga do equipamento – que é composta de óleo de microalga, após a extração deveria ser referenciada como a saída de fundo do equipamento, devido as relações entre as densidades das correntes de alimentação. Entretanto, segundo Mancio (2011) a corrente denominada de “Extrato” é aquela que possui o produto de interesse e não a corrente com o solvente, sendo assim, está corrente seria o produto de topo do equipamento. Optou-se por seguir de forma análoga a proposta da simulação para que os fluxogramas gerados sejam fidedignos com a simulação tida como base e, devido a isso, a corrente “Extrato” é indicada como produto de topo da coluna de extração. A figura 37 demonstra este fluxo detalhadamente:

Figura 37: Etapa de lavagem com água.



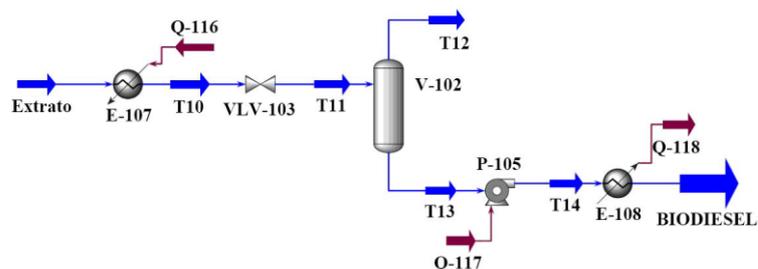
Fonte: Mancio, 2011.

5.2.1.8. Remoção da água de lavagem

Para que seja finalizada a purificação do biodiesel é necessário que o excesso de água na corrente de “Extrato” seja removido e, para isso – conforme a figura 38, a corrente é aquecida pelo trocador de calor E-107 até a temperatura de 150 °C e depois tem sua pressão reduzida pela válvula VLV-103 para que a corrente “T11” esteja a 40 kPa. Segundo Mancio (2011) esta condição é adequada pois o biodiesel se degrada a partir dos 250 °C.

Após a passagem pelo vaso flash V-102 a corrente de biodiesel seco (corrente “T13”) é bombeada pela bomba centrífuga P-105 e posteriormente resfriado a temperatura ambiente pelo trocador de calor E-108 gerando a corrente final de Biodiesel. Este resfriamento é necessário para que o biodiesel possa ser analisado, conforme normas da ANP.

Figura 38: Etapa de remoção de água de lavagem.



Fonte: Mancio, 2011.

5.3. PROCESSO 2 – PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA POR DESACIDIFICAÇÃO FÍSICA.

Foi definido como processo 2 a rota que propõe a preparação do óleo da microalga *Phaeodactylum tricornutum* por meio da desacidificação de forma física. As etapas de síntese do biodiesel, via catálise básica, e purificação do produto são idênticas as do processo anterior. A figura 39 demonstra a rota proposta e simulada por Mancio (2011), os equipamentos presentes na simulação podem ser sumarizados pela tabela 6.

Tabela 6: Equipamentos presentes no fluxograma do processo 2

Tipo de equipamentos	Unidades	Código	Descrição
<i>Pré-tratamento do óleo</i>			
Bombas	2	P-100 P-101	
Válvulas	2	VLV-100 VLV-101	
Misturadores	1	MIX-100	
Trocadores de calor	3	E-100 E-101 E-102	
Separador flash	1	V-100	Remoção de água
Coluna de extração líquido-líquido	1	T-100	Desacidificação física
Coluna de destilação	1	T-101	Recuperação de álcool
Unidade de operação lógica	1	RCY-1	
<i>Produção, separação e purificação do biodiesel</i>			
Reator	1	CRV-100	Reação de transesterificação
Bombas	3	P-102 P-103 P-104	
Válvulas	2	VLV-102 VLV-103	
Misturadores	3	MIX-101 MIX-102 MIX-103	
Trocadores de calor	6	E-103 E-104 E-105 E-106 E-107 E-108	
Separador flash	2	V-101 V-102	Remoção de álcool Remoção de impurezas
Coluna de destilação	1	T-102	Recuperação de álcool
Coluna de extração líquido-líquido	1	T-103	Lavagem com água
Unidade de operação lógica	1	RCY-2	

Fonte: Mancio, 2011.

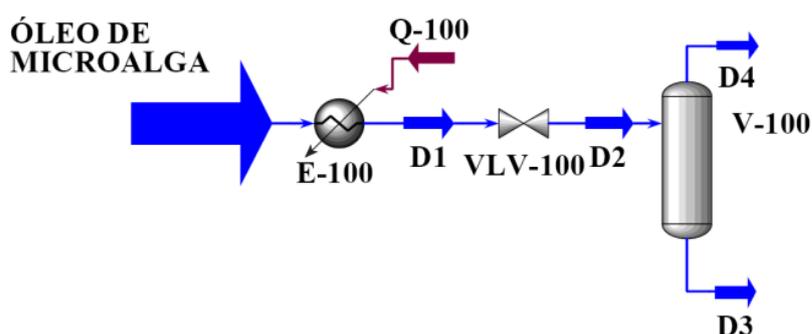
5.3.1. Descritivo do processo 2

Como é possível notar ao comparar figura 39 com a figura 30 as etapas do processo funcionam de forma idêntica, exceto a parte de preparação da matéria prima e o álcool utilizado para a reação de transesterificação, entretanto, as condições dos processos tendem a mudar e, por conta disso, foi feita a explicação detalhada de cada um dos tópicos desta planta de forma análoga ao feito para o processo 1, para que assim se tenha mais conhecimento sobre as condições deste processo, garantindo uma análise de risco mais detalhada.

5.3.1.1. Remoção de água

Com base na figura 40 a seguir, o processo 2 começa pela entrada do óleo de microalga no trocador de calor E-100 gerando a corrente “D1” a 110 °C e 101,3 kPa, esta corrente é depressurizada pela válvula VLV-100 ficando com uma pressão final de 50 kPa -corrente “D2” - que segue para a entrada do separador flash V-100 que opera a 109 °C e 50 kPa. Neste separador a água é removida do óleo gerando as correntes “D4” composta apenas por água e a corrente “D3” composta pelo óleo de microalga com uma pequena quantidade de água. Segundo Mancio (2011), o óleo da corrente “D4” possui 0,045% de água em sua composição.

Figura 40: Etapa de remoção de água do processo 2.



Fonte: Mancio, 2011

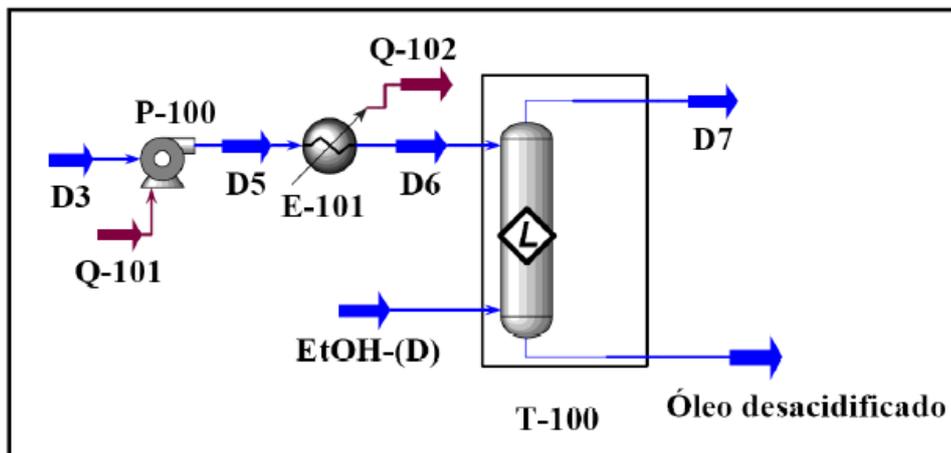
5.3.1.2. Desacidificação física.

Com base na figura 41 a seguir, nota-se que a corrente “D3” (que representa a saída do óleo de microalga pelo separador flash V-100) é bombeada pela bomba centrífuga P-100 e posteriormente resfriada até 25 °C pelo trocador de calor E-101 para que possa ser adicionada

a coluna de extração líquido-líquido, representada pelo equipamento T-100. Em paralelo, o misturador MIX-100 prepara a mistura entre o etanol puro utilizado (corrente “make-up (EtOH)”) e a corrente “D12” de etanol reciclado, resultando assim a corrente “EtOH – (D)” que também alimenta a coluna V-100.

A coluna V-100 possui a finalidade de remover os ácidos graxos livres (AGL) presentes no óleo de microalga, para isso, este equipamento opera a 25 °C e 101,3 kPa com etanol utilizado como solvente e uma relação mássica óleo/álcool de 1/1. Como resultante deste processo temos a corrente “óleo desacidificado” que possui 7,42% de etanol, 92,95% e pequenos traços de água e ácido palmítico. A corrente “D7” é principalmente constituída pelo etanol e pelas impurezas presentes no óleo. Esta corrente será posteriormente tratada para que sirva como realimentação de etanol para o processo (MANCIO, 2011).

Figura 41: Etapa de desacidificação física do etanol no processo 3



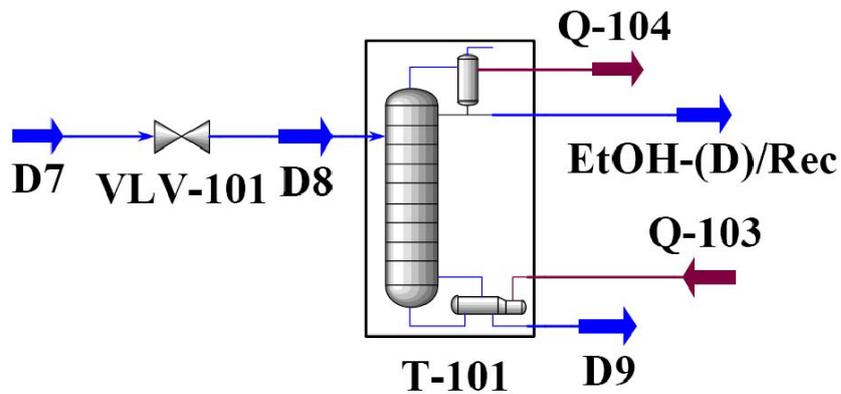
Fonte: Mancio, 2011.

5.3.1.3. Recuperação do etanol.

Com a remoção dos ácidos graxos livres, representada no tópico anterior é necessário que se purifique o etanol para que ele possa retornar ao processo, de curso com a figura 42 a seguir, para esta finalidade a corrente “D7” passa pela válvula VLV-101, alterando sua pressão para 70 kPa, para que assim possa entrar na coluna de destilação T-101. Esta coluna opera a 70 kPa, com 6 estágios teóricos e razão de refluxo igual a 1, as saídas deste equipamento podem ser representadas pelas correntes “D8” composta de etanol e as impurezas resultantes da desacidificação e pela corrente “EtOH-(D)/Rec” que possui 99,79% de pureza em etanol que é

bombeada e misturada com o make-up para retornar as etapas de desacidificação (MANCIO, 2011).

Figura 42: Recuperação do etanol no processo 3

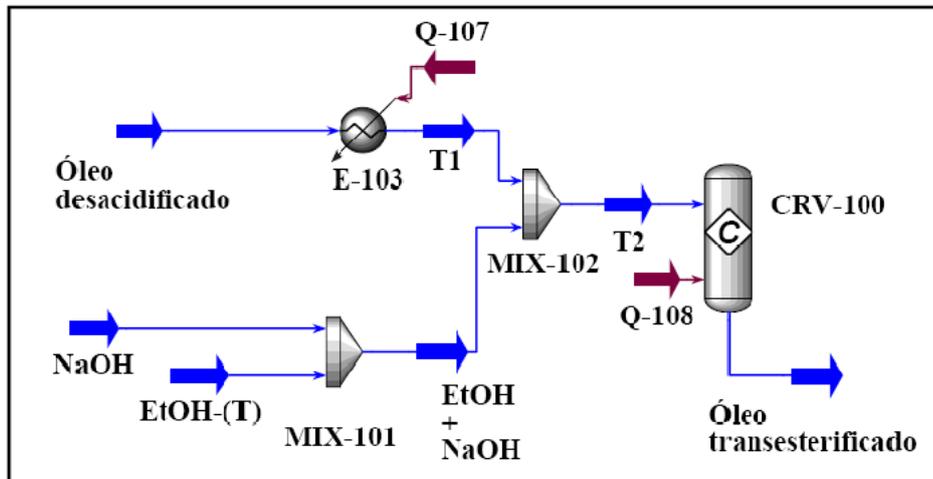


Fonte: Mancio, 2011.

5.3.1.4. Reação de transesterificação

Em sequência ao pré-tratamento do óleo de microalga utiliza-se o óleo já desacidificado para que seja feita a reação de transesterificação do biodiesel, para isso, conforme a figura 43, a corrente de óleo tratado é aquecida pelo trocador de calor E-103 até 85 °C resultando assim na corrente “T1” que é introduzida no misturador MIX-102, que mistura a corrente “T1” com uma corrente já pré-misturada (pelo misturador MIX-101) de soda caustica com a corrente de etanol “EtOH – (T)”, a resultante destas misturas é a corrente “T2” que alimenta o reator CRV-100. É neste reator que ocorre a reação de transesterificação do óleo, para isso a temperatura do reator é de 78,25 C e 101,3 kPa (condições necessárias para a ebulição do etanol), são empregados 1% de NaOH em relação a massa de óleo e, por fim, uma relação em massa de etanol/óleo em 6/1 (MANCIO, 2011).

Figura 43: Etapa de transesterificação para o processo 2



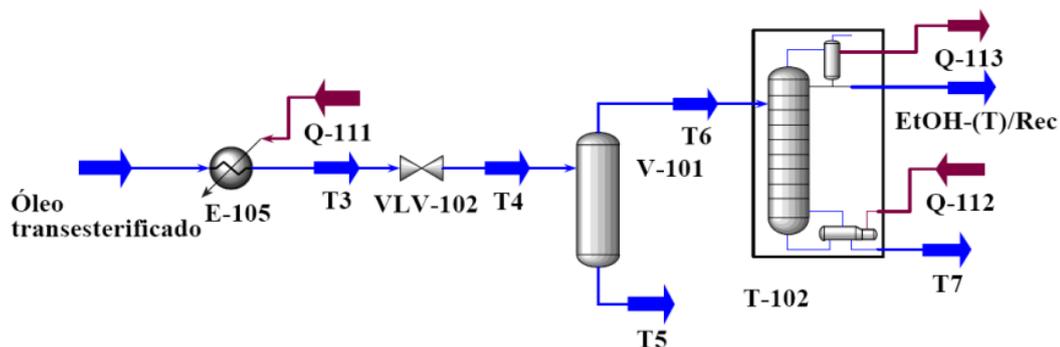
Fonte: Mancio, 2011.

Como saída do reator CRV-100 tem-se a corrente de óleo transesterificado que possui os ésteres componentes do biodiesel com aproximadamente 99% de conversão, a corrente também possui etanol não reagido, glicerol, pequenas quantidades de óleo, água e catalisador. Sendo assim, é necessário purificar esta corrente para se obter um biodiesel dentro das especificações para comercialização.

5.3.1.5. Recuperação do etanol

Para que seja recuperado o etanol em excesso da reação de transesterificação a corrente de óleo transesterificado é aquecida pelo trocador de calor E-104 até a temperatura de 100 °C e posteriormente despressurizada por meio da válvula VLV-102 até uma pressão de 40 kPa, resultando na corrente “T4”, que alimenta o vaso de separação flash (V-101) que opera para remover o etanol da mistura reacional. Este vaso opera a 87 °C e 40 kPa gerando duas correntes de saída, vide figura 44 a seguir:

Figura 44: Etapa de recuperação de etanol do processo 2



Fonte: Mancio, 2011.

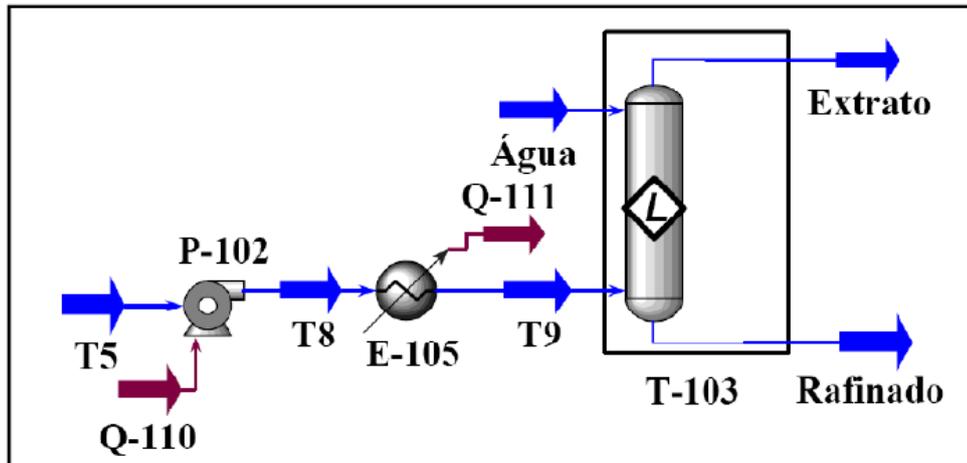
A corrente de topo do vaso V-101 é constituída, em sua maior parte, por etanol, entretanto nota-se a presença de ésteres etílicos, sendo assim, deve se seguir com um processo de destilação para que esta corrente possa ser reutilizada na reação de transesterificação. Com esta finalidade de emprego a coluna de destilação T-102 que opera a 40 kPa com 3 estágios teóricos que possibilita a saída da corrente EtOH-(t)/Rec com etanol praticamente puro. A corrente de fundo desta coluna (corrente “T7”) é composta de uma mistura de etanol com os resíduos de ésteres etílicos (MANCIO, 2011).

Por fim, a corrente de fundo do vaso de separação flash mencionado (corrente “T5”) possui o biodiesel que precisará ser lavado para a remoção de suas demais impurezas.

5.3.1.6. Lavagem com água

Com base na figura 45 a corrente com o biodiesel não tratado (corrente “T5” - saída do vaso flash) é bombeada por meio da bomba centrífuga P-102 e resfriada por meio do trocador de calor E-106 até a temperatura de 25 °C resultando na corrente “T9” que é direcionada para uma coluna de extração líquido-líquido (T-103) que opera a 25 °C, 101,3 kPa e com 10 estágios teóricos. Esta coluna tem a finalidade de remover os componentes indesejados da corrente de biodiesel (etanol, NaOH, glicerol e óleo não reagido), para isso se utiliza de água como solvente para que se tenha o arraste destes componentes. Como resultado desta operação temos duas correntes de saída: o “Refinado”, que possui que concentra o glicerol, as impurezas da corrente além de grande parte do solvente, e uma corrente de “Extrato” que possui o biodiesel com água residual do processo de lavagem (MANCIO, 2011). Vale salientar que as mesmas considerações feitas a respeito dos nomes das correntes durante o processo 1, presentes no item 5.2.1.7, se aplicam.

Figura 45: Lavagem do biodiesel com água para o processo 2



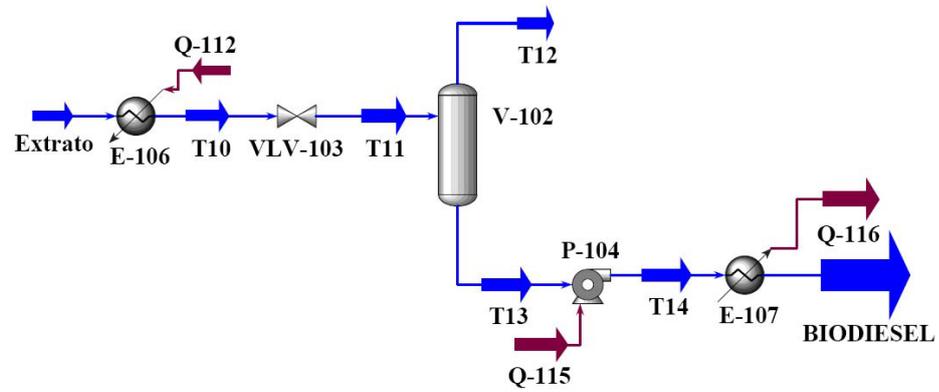
Fonte: Mancio, 2011.

5.3.1.7. Remoção da água de lavagem.

Acompanhando a figura 46 abaixo, para finalizar a etapa de purificação do biodiesel deve-se remover a água presente na corrente de “Extrato”. Para isso, a corrente de extrato deve ser aquecida por meio do trocador de calor E-106 até a temperatura de 150 °C e depois deve ser despressurizada pela válvula VLV-103 para a pressão de 40 kPa, resultando na corrente “T11” que é direcionada para o vaso flash V-102 que opera a 146 °C e 40 kPa, condição adequada para o biodiesel pelos motivos de degradação apresentados anteriormente (MANCIO, 2011).

Após a operação o vaso VLV-103 a corrente de biodiesel puro (corrente “T13”), com 99,04% de ésteres etílicos deve ser bombeada pela bomba P-104 e posteriormente resfriado pelo trocador de calor E-107 até a temperatura de 25 °C que pode então ser armazenada.

Figura 46: Etapa de remoção de água do biodiesel para o processo 2



Fonte: Mancio, 2011

5.4. CONDIÇÕES DE PROCESSO

As tabelas 7 e 8 tem o intuito de unificar todas as informações de pressão e temperatura, expostas nos tópicos 5.2. e 5.3., facilitando a visualização dos dados para as análises de risco.

Tabela 7: Sumário das condições operacionais dos principais equipamentos presentes nos fluxogramas dos processos 1

Equipamentos/Código	Condições operacionais	
V-100	Temperatura (°C)	109
	Pressão (kPa)	50
	Temperatura (°C)	63,8
CVR-100	Pressão (kPa)	101,3
	Conversão (%)	100
T-100	Pressão (kPa)	70
	Nº de estágios	6
	Temperatura (°C)	25
T-101	Pressão (kPa)	101,3
	Nº de estágios	6
	Fluxo mássico do glicerol (kg/h)	6000
	Temperatura (°C)	64,65
CVR-101	Pressão (kPa)	101,3
	Conversão (%)	99
V-101	Temperatura (°C)	92
	Pressão (kPa)	40
T-102	Pressão (kPa)	40
	Nº de estágios	3
	Temperatura (°C)	25
T-103	Pressão (kPa)	101,3
	Nº de estágios	10
	Fluxo mássico de água (kg/h)	9292
V-102	Temperatura (°C)	146
	Pressão (kPa)	40

Fonte: Adaptado de Mancio, 2011.

Tabela 8: Sumário das condições operacionais dos principais equipamentos presentes no fluxograma do processo 3.

Equipamentos/código	Condições operacionais	
V-100	Temperatura (°C)	109
	Pressão (kPa)	50
	Temperatura (°C)	25
T-100	Pressão (kPa)	101,3
	Nº de estágios	10
	Fluxo mássico do etanol (kg/h)	8250
T-101	Pressão (kPa)	70
	Nº de estágios	6
	Temperatura (°C)	78,25
CVR-100	Pressão (kPa)	101,3
	Conversão (%)	99
V-101	Temperatura (°C)	87
	Pressão (kPa)	40
T-102	Pressão (kPa)	40
	Nº de estágios	3
	Temperatura (°C)	25
T-103	Pressão (kPa)	101,3
	Nº de estágios	10
	Fluxo mássico de água (kg/h)	8209
V-102	Temperatura (°C)	146
	Pressão (kPa)	40

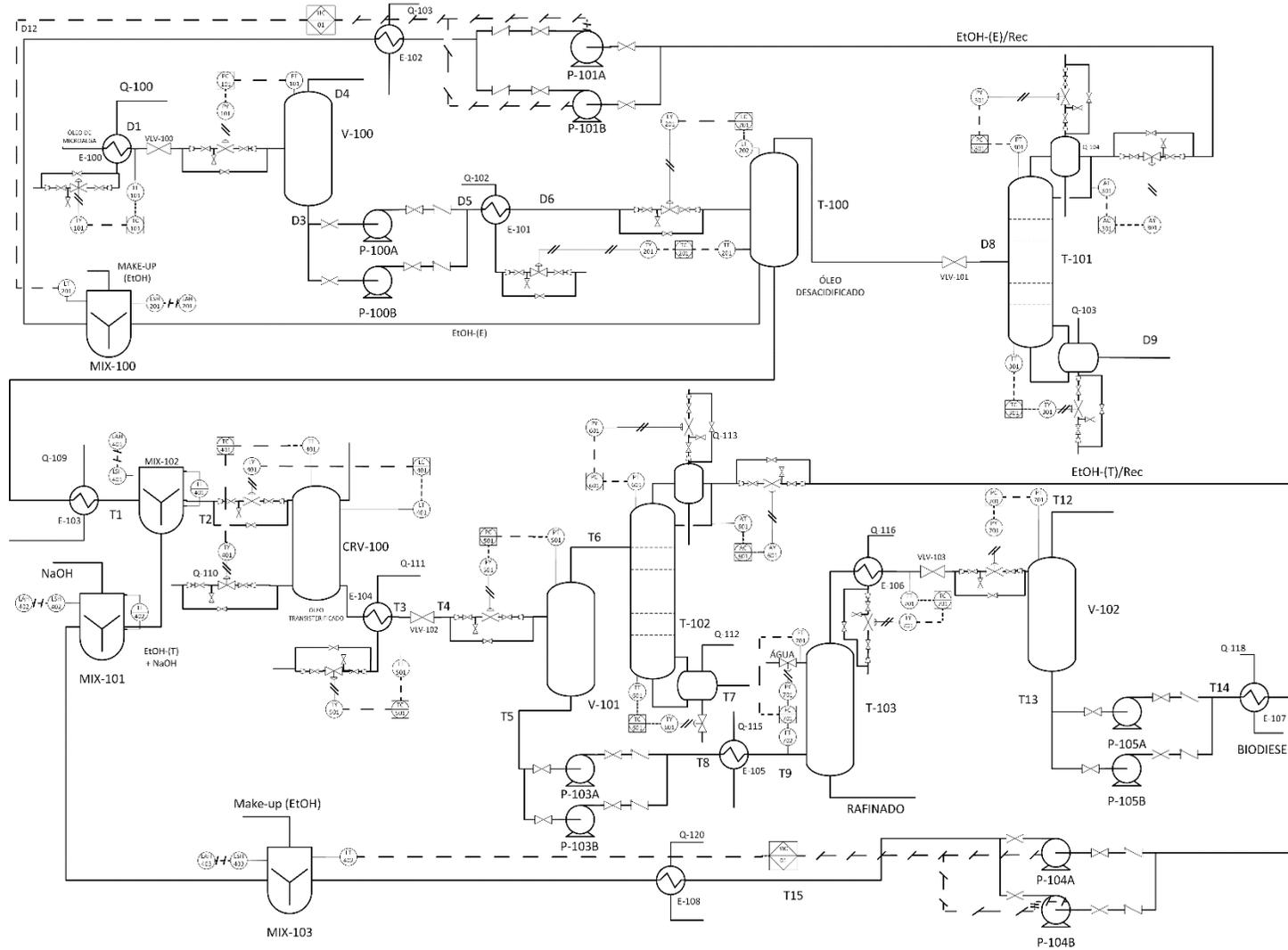
Fonte: Adaptado de Mancio, 2011.

5.5. CRIAÇÃO DOS FLUXOGRAMAS DE PROCESSO

Com base nas simulações expostas anteriormente, junto de seus descritivos de processo e valores de referência, foi possível criar diagramas de engenharia (P&ID's) que representam um processo real. Durante a elaboração destes diagramas, visando garantir que o processo fosse o mais semelhante com o real o possível, os autores consultaram o professor Dr. Luís F. Peffi Ferreira, do departamento de biotecnologia do Centro Universitário FEI, que auxiliou na determinação dos equipamentos utilizados, tais como redundâncias, e válvulas não expostas na simulação. Também foi consultado o professor Dr. Ivan C. Franco, especialista em Automação e Malha de controle do departamento de Engenharia Química do Centro Universitário FEI, para garantir que os controles atribuídos atenham as necessidades da planta, e não extrapolem em custos. O resultado destes diagramas está exposto nas figuras 47 e 48 a seguir.

A partir destes dados, foi possível dar início às metodologias HAZOP e FMEA de análise de risco.

Figura 48: Diagrama de engenharia para o processo 2



Fonte: Autor.

5.6. PREPARAÇÃO PARA APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS

Com base nos fluxogramas de engenharia apresentados anteriormente, é possível identificar todos os equipamentos e correntes de processo utilizados durante o funcionamento do projeto, entretanto, apenas reconhecer estes componentes não é suficiente para determinar precisamente seus perigos. Dado a isso, foi feito um estudo prévio das correntes do processo e dos equipamentos empregados nos processos e seus mecanismos de falha, que devem ser utilizados para justificar eventuais decisões durante o processo de análise de risco, presente na revisão bibliográfica do presente trabalho.

Também faz parte da preparação para a aplicação das metodologias a definição das matrizes de risco a serem empregadas, definição de palavras-chave (HAZOP) e dos parâmetros para validação dos fatores multiplicativos RPN (FMEA), estes assuntos estão presentes nos itens 2.3.1 e 2.3.2 do presente trabalho. Por fim é importante definir os “nós” de processo para a aplicação da ferramenta HAZOP.

5.6.1. Determinação dos nós para análise HAZOP.

A determinação dos nós para a execução da análise HAZOP segue de forma análoga ao item 5.2.1 do presente trabalho, ou seja, os nós foram determinados conforme os processos explicados. Assim como mencionado na metodologia (disponível no item 4.3.4.), a utilização deste método para determinação dos nós tem como princípio o estudo de cada processo individualmente e as consequências que possíveis acidentes em um de seus equipamentos, controles ou afins poderia gerar. Entretanto, mesmo definindo os nós desta forma, ainda é possível estimar o impacto de um efeito negativo nos demais setores/processos da planta.

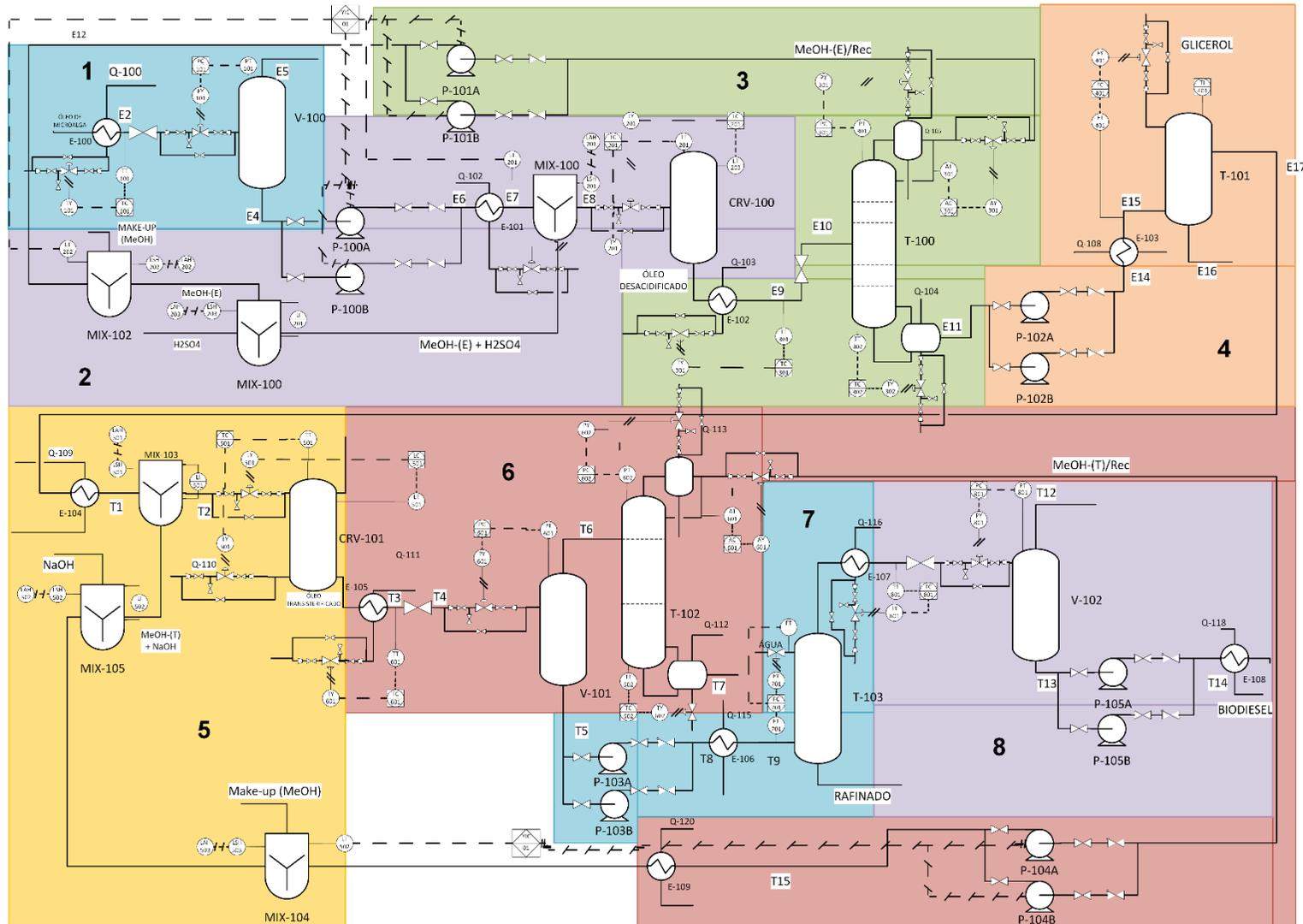
Uma vez que está análise foi efetuada apenas para o processo 1 indicado, na tabela 9 a seguir pode-se identificar o resumo dos nós e seus processos relacionados. A aplicação destes nós aos diagramas de engenharia pode ser encontrada na figura 49.

Tabela 9: Indicação dos nós para a metodologia HAZOP

Nó	Processo	Cor na representação do diagrama
1	Remoção de água	Azul
2	Reação de esterificação	Roxo
3	recuperação do metanol	Verde
4	lavagem com glicerol	Laranja
5	reação de transesterificação	Amarelo
6	recuperação do metanol	Vermelho
7	lavagem com água	Azul
8	Remoção da água de lavagem.	Roxo

Fonte: Autor

Figura 49: Demonstração dos nós no diagrama de engenharia.



Fonte: Autor

5.7. ELABORAÇÃO DA ANÁLISE HAZOP

Com base nos dados obtidos nos itens anteriores, junto da metodologia e revisão bibliográfica apresentadas anteriormente, foi possível elaborar a análise HAZOP para o processo 1 como um todo. Os resultados dessa análise (presentes na tabela 10 abaixo), com suas discussões e conclusões estão descritos a seguir.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continua)

HAZOP - Identificação de Perigos e Operabilidade										
Número do HAZOP		1				Data	17/07/2021			
Revisão		1				Responsáveis	Autor			
Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações	
1	Fluxo	Zero	Falta de óleo de microalga na alimentação devido ao não reabastecimento da corrente	Usualmente, existem estoques de matéria prima para alguns dias de produção (Não informado no fluxograma)	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Reestudo do tamanho dos tanques de armazenamento para verificar se estão suficientemente dimensionados em caso de problemas de logística; b. Indicações de nível através de instrumentações simples no tanque de armazenamento para que quando esteja em estado baixo ou crítico informe aos operadores por meio de alarmes sonoros ou visuais; c. Estudo de mais fornecedores para contatos de emergência.	

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
1	Fluxo	Zero	Falha na bomba centrífuga de transporte de óleo de microalga por entupimento da linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
1	Fluxo	Zero	Falha na bomba centrífuga de transporte de óleo de microalga por queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
1	Fluxo	Zero	Falha na alimentação do tanque V-100 devido ao travamento da válvula de controle em posição totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
1	Fluxo	Zero	Não alimentação da água de utilidade que aquece o óleo de microalga devido a trava da válvula na posição totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento V-100, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Fluxo	Zero	Não alimentação da água de utilidade que aquece o óleo de microalga devido a entupimento na linha	Existência de um by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento V-100, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Implantação de filtros de linha com DP.
1	Fluxo	Menos	Baixa alimentação na entrada de óleo de microalga devido a corrosão.	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Fluxo	Menos	Baixa alimentação na entrada de óleo de microalga devido a entupimento na linha.	Não aplicável.	a. Diminuição da produção; b. Perda financeira; c. Parada da planta para manutenção.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
1	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade causado por desregulagens do controle	Existência de um by-pass.	a. O óleo de microalga não entra no equipamento V-100 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-100, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-100 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade causado por incrustação na linha.	Existência de um by-pass.	a. O óleo de microalga não entra no equipamento V-100 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
1	Fluxo	Mais	Desregulagem do controle de alimentação do vaso Flash.	Não aplicável.	a. Sobrenível do vaso Flash, causando a não separação das correntes; b. Perda de reagentes; c. Perda de produto; d. Transbordamento do óleo de microalga; e. Geração de produto fora de especificação.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-100, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-100 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Fluxo	Mais	Desregulagem do controle de alimentação da água de utilidade para aquecimento da corrente de óleo de microalga.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão excessiva.	a. Alimentação de óleo de microalga com temperatura superior ao set point do controlador;	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
1	Fluxo	Também	Recebimento do óleo de microalga fora de especificação.	Não aplicável.	a. Possível dano as tubulações e equipamentos devido ao contaminante; b. Produto final possivelmente fora de especificação c. Perda financeira; d. Perda dos reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem do óleo de microalga recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do óleo de microalga para aferição com os resultados obtidos de caracterização.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Pressão	Menos	Defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. O vaso Flash V-100 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-100, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-100 caso este esteja fora da especificação;
1	Pressão	Menos	Vazamento nas tubulações.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. O vaso Flash V-100 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-100, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-100 caso este esteja fora da especificação;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Pressão	Menos	Defeito no controle de pressão do vaso Flash V-100.	Não aplicada.	a. O vaso Flash V-100 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica dos sistemas de controle; b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-100, que acarreta reciclo imediato do produto do tanque de separação V-100 para a linha de entrada do trocador de calor E-100 caso este esteja fora da especificação, fazendo com que passe por uma nova etapa de separação;
1	Pressão	Mais	Defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. Parada do processo para manutenção; b. Menor produção, pois o controle de pressão do vaso V-100 fará com que a vazão do óleo seja muito menor do que o set point da planta; c. Perda financeira.	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Temperatura	Mais	A variação na temperatura da corrente só pode ser influenciada pela vazão ou temperatura de água de utilidade. Entretanto, as pequenas variações possivelmente causadas durante o processo não são suficientes para que haja problemas na produção.	Malha de controle de temperatura na saída do trocador de calor.	Não aplicável.	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	Não aplicável.
1	Temperatura	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade causado por desregulagens do controle	Existência de um by-pass.	a. O óleo de microalga não entra no equipamento V-100 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-100, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-100 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
1	Temperatura	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade causado por incrustação na linha.	Existência de um by-pass.	a. O óleo de microalga não entra no equipamento V-100 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
2	Fluxo	Zero	Não alimentação de H ₂ SO ₄ devido a não reabastecimento da corrente	Usualmente, existem estoques de matéria prima para alguns dias de produção (Não informado no fluxograma)	a. Como o H ₂ SO ₄ é o catalisador da reação, o interrompimento de seu fluxo impede a geração de biodiesel nas condições estudadas; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Reestudo do tamanho dos tanques de armazenamento para verificar se estão suficientemente dimensionados em caso de problemas de logística; b. Indicações de nível através de instrumentações simples no tanque de armazenamento do catalisador para que quando esteja em estado baixo ou crítico informe aos operadores por meio de alarmes sonoros ou visuais; c. Estudo de mais fornecedores para contatos de emergência.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Não alimentação de H ₂ SO ₄ devido a falha na bomba de transporte ao misturador	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Como o H ₂ SO ₄ é o catalisador da reação, o interrompimento de seu fluxo impede a geração de biodiesel nas condições estudadas; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
2	Fluxo	Zero	Não alimentação de H ₂ SO ₄ devido a queda de energia que causou parada nas bombas	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Como o H ₂ SO ₄ é o catalisador da reação, o interrompimento de seu fluxo impede a geração de biodiesel nas condições estudadas; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-Chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Não recebimento da corrente de recuperação de MeOH devido a rompimento na linha	Corrente de Make-up (MeOH puro)	<p>a. Como não haveria alimentação da recuperação de Metanol, seria necessário alimentar o misturador Mix-102 apenas com o make-up de MeOH para que o processo seguisse continuamente;</p> <p>b. Criação de atmosfera inflamável e explosiva;</p> <p>c. Riscos ambientais;</p> <p>d. Riscos à saúde dos colaboradores;</p> <p>e. Perdas financeiras;</p> <p>f. Necessidade de operação de emergência para contenção do vazamento.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica das tubulações;</p> <p>b. Criação de procedimentos de segurança em caso de vazamento;</p> <p>c. Estudo constante das vazões das tubulações ao longo do tempo para identificar potenciais falhas.</p>
2	Fluxo	Zero	Falha na bomba P-100 por entupimento da linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	<p>a. Não abastecimento do óleo de microalga do equipamento V-100 para o misturador MIX-100, fazendo com que não exista a reação;</p> <p>b. Perdas financeiras;</p> <p>c. Perda de reagentes;</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de filtros de linha com DP.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Falha na bomba P-100 por queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Não abastecimento do óleo de microalga do equipamento V-100 para o misturador MIX-100, fazendo com que não exista a reação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.
2	Fluxo	Zero	Parada da válvula de controle na entrada do CRV-100 na posição de totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. Não abastecimento da mistura reacional do equipamento MIX-100 para o reator CRV-100, fazendo com que não exista a reação; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes; e. Acarretará problemas de sobrenível em equipamentos devido a retenção de corrente.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Parada na válvula de controle de alimentação da água de utilidade do trocador E-101 na posição totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento MIX-100 e no reator CRV-100, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Não alimentação de Make-up de MeOH devido a não reabastecimento da corrente	Usualmente, existem estoques de matéria prima para alguns dias de produção (Não informado no fluxograma)	a. Como MeOH é um dos reagentes para geração do produto, acarretaria na reação somente com o metanol de reciclo, fazendo com que tenha perda de produtividade; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Reestudo do tamanho dos tanques de armazenamento para verificar se estão suficientemente dimensionados em caso de problemas de logística; b. Indicações de nível através de instrumentações simples no tanque de armazenamento do catalisador para que quando esteja em estado baixo ou crítico informe aos operadores por meio de alarmes sonoros ou visuais; c. Estudo de mais fornecedores para contatos de emergência. d. Implantação de controle de vazão na linha de MeOH + H ₂ SO ₄ , de acordo com concentração no misturador MIX-100 (controle de concentração com atuação na vazão da corrente mencionada)..

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Não alimentação de Make-up de MeOH devido a falha na bomba de transporte ao misturador	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	<p>a. Como MeOH é um dos reagentes para geração do produto, acarretaria na reação somente com o metanol de reciclo, fazendo com que tenha perda de produtividade;</p> <p>b. Gera retrabalho;</p> <p>c. Problemas na planta;</p> <p>d. Perdas financeiras.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de controle de vazão na linha de MeOH + H₂SO₄, de acordo com concentração no misturador MIX-100 (controle de concentração com atuação na vazão da corrente mencionada).</p> <p>e. Implantação de filtros de linha com DP.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Zero	Não alimentação de Make-up de MeOH devido a queda de energia que causou parada nas bombas	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Como MeOH é um dos reagentes para geração do produto, acarretaria na reação somente com o metanol de reciclo, fazendo com que tenha perda de produtividade; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores. e. Implantação de controle de vazão na linha de MeOH + H2SO4, de acordo com concentração no misturador MIX-100 (controle de concentração com atuação na vazão da corrente mencionada).

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Menos	Corrosão nas linhas de transporte de make-up	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção. f. Criação de área inflamável; g. Riscos à saúde dos colaboradores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
2	Fluxo	Menos	Corrosão nas linhas de transporte de H ₂ SO ₄	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção. f. Riscos à saúde dos colaboradores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Menos	Desconfiguração no controle de vazão da água de utilidade do trocador de calor E-100	Existência de um by-pass.	a. O óleo de microalga não entra no equipamento MIX-100 e no reator CRV-100 na temperatura correta, fazendo com que a reação não ocorra adequadamente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle.
2	Fluxo	Menos	Corrosão nas tubulações de transporte de reagentes até o reator	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção; f. Possível criação de zona inflamável; g. Possível dano à saúde dos colaboradores.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Menos	Desconfiguração no controle de vazão na entrada do reator CRV-100	Existência de um by-pass.	a. Possíveis problemas na reação devido ao baixo nível, que acarretaria em problemas na agitação do reator; b. Possível geração de produto fora das especificações; c. Diminuição da produtividade da planta; d. Perdas financeiras; e. Geração de sobrenível em equipamentos anteriores devido ao acúmulo na linha.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle.
2	Fluxo	Menos	Desconfiguração no controle de nível do misturador MIX-100	Existência de um by-pass.	a. Geração de mistura fora das especificações devido a menor quantidade de óleo de microalga; b. Geração de maior excesso de MeOH e H ₂ SO ₄ no final da produção; c. Diminuição da produtividade da planta; d. Perdas financeiras; e. Geração de sobrenível em equipamentos anteriores devido ao acúmulo na linha.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle; c. Implantação de controle de vazão na linha de MeOH + H ₂ SO ₄ , de acordo com concentração no misturador MIX-100 (controle de concentração com atuação na vazão da corrente mencionada).

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Menos	Mal funcionamento da bomba P-100 devido a entupimento na linha	Não aplicável.	a. Geração de mistura fora das especificações devido a menor quantidade de óleo de microalga; b. Geração de maior excesso de MeOH e H ₂ SO ₄ no final da produção; c. Diminuição da produtividade da planta; d. Perdas financeiras; e. Geração de sobrenível em equipamentos anteriores devido ao acúmulo na linha.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de controle de vazão na linha de MeOH + H ₂ SO ₄ , de acordo com concentração no misturador MIX-100 (controle de concentração com atuação na vazão da corrente mencionada). e. Implantação de filtros de linha com DP.
2	Fluxo	Mais	Mal regulagem na bomba P-100	Todas as bombas foram projetadas em redundância. Intertravamento nas bombas para evitar sobrenível no misturador	a. Desequilíbrio na estequiometria proposta na reação, que acarreta mudanças na produtividade, ou podendo gerar desperdício de óleo.	Improvável	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Mais	Desconfiguração no controle vazão de entrada do reator CRV-100	Não aplicável.	a. Sobrenível do reator CRV-100, podendo causar insuficiência na agitação e geração de produto fora das especificações;	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
2	Fluxo	Mais	Desconfiguração do controle de vazão da água de utilidade do trocador de calor E-100	Não aplicável.	a. Possível entrada de mistura reacional acima da temperatura especificada, o que não causaria demais problemas devido a esta reação não ser exotérmica;	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
2	Fluxo	Mais	Mal regulagem da bomba de abastecimento de H ₂ SO ₄	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Excesso de catalisador na mistura reacional, o que pode acarretar problemas de reação; b. Desperdício de catalisador	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.
2	Fluxo	Mais	Mal regulagem da bomba de abastecimento de Make up	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Excesso de metanol na mistura reacional, ocasionando a necessidade de maior reciclo.	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Também	Entrada de contaminantes na corrente de Make-up no MIX-102	Não aplicável.	a. Entrada de contaminantes no reator CRV-100, podendo acarretar danos a reação e reações paralelas; b. Possíveis danos a tubulações e equipamentos; c. Possível perda de reagentes; d. Possível descaracterização do processo;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem do metanol recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do metanol para aferição com os resultados obtidos de caracterização.
2	Fluxo	Também	Entrada de contaminantes na corrente de H ₂ SO ₄ no MIX-101	Não aplicável.	a. Entrada de contaminantes no reator CRV-100, podendo acarretar danos a reação e reações paralelas; b. Possíveis danos a tubulações e equipamentos; c. Possível perda de reagentes; d. Possível descaracterização do processo;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem do H ₂ SO ₄ recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do H ₂ SO ₄ para aferição com os resultados obtidos de caracterização.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de E7 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-101	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-100 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	<p>a. O óleo de microalga não entra no equipamento MIX-100 e no reator CRV-100 na temperatura correta devido a menor troca térmica, fazendo com que a reação não ocorra adequadamente;</p> <p>b. Produto final fora de especificação;</p> <p>c. Perda financeira;</p> <p>d. Perda de reagentes;</p> <p>e. Possíveis riscos à saúde dos colaboradores devido a temperatura da água.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Pressão	Mais	Aumento da pressão devido a aumento na temperatura da mistura reacional devido a problemas no controle.	Não aplicado.	a. Devido aos vapor de metanol que seriam liberados com o aumento da temperatura, a pressão consequentemente aumentaria, fazendo com que não houvesse reação; b. Tal aumento de pressão pode fazer com que os fluxos se revertam, acionando as válvulas de bloqueio. Em casos extremos, o aumento significativo de pressão pode causar danos a estrutura do reator, fazendo com que este se rompa. Caso isso venha acontecer, podem se adicionar às consequências: riscos à saúde dos colaboradores; Riscos ao meio ambiente danos a planta.; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes.	Raro	Catastrófica	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle; b. Manutenção de reatores e seus sistemas de segurança;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Temperatura	Menos	Desconfiguração no controle de temperatura do reator CRV-100, que interfere na vazão de água de utilidade no trocador de calor E-100	Existência de by-pass.	a. O óleo de microalga não entra no equipamento MIX-100 e no reator CRV-100 na temperatura correta, fazendo com que a reação não ocorra adequadamente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle.
2	Temperatura	Menos	Incrustação no trocador de calor E-100	Não aplicável	a. O óleo de microalga não entra no equipamento MIX-100 e no reator CRV-100 na temperatura correta, fazendo com que a reação não ocorra adequadamente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
2	Temperatura	Mais	Desconfiguração no controle de temperatura do reator CRV-100, que interfere na vazão de água de utilidade no trocador de calor E-100	Existência de by-pass.	<p>a. Possível entrada de mistura reacional acima da temperatura especificada, o que causaria a ebulição do metanol, interferindo na reação e fazendo com que o produto não seja gerado dentro das especificações;</p> <p>b. Tal aumento de pressão pode fazer com que os fluxos se revertam, acionando as válvulas de bloqueio. Em casos extremos, o aumento significativo de pressão pode causar danos a estrutura do reator, fazendo com que este se rompa. Caso isso venha acontecer, podem se adicionar às consequências: riscos à saúde dos colaboradores; Riscos ao meio ambiente danos a planta.;</p> <p>c. Interferência na pressão do reator;</p> <p>d. Perda financeira;</p> <p>e. Perda de reagentes.</p>	Raro	Catastrófica	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica no controle.</p> <p>b. Manutenção de reatores e seus sistemas de segurança;</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Zero	Falha da bomba P-101 por entupimento na linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Impedimento no reciclo de MeOH, que causa um desequilíbrio na estequiometria estabelecida para a reação conduzida no CRV-100, fazendo com que a reação seja impossibilitada; b. Sobrenível nos equipamentos anteriores; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
3	Fluxo	Zero	Falha da bomba P-101 por queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Impedimento no reciclo de MeOH, que causa um desequilíbrio na estequiometria estabelecida para a reação conduzida no CRV-100, fazendo com que a reação seja impossibilitada; b. Sobrenível nos equipamentos anteriores; c. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle na saída do condensador	Existência de by-pass.	a. Impedimento no reciclo de MeOH, que causa um desequilíbrio na estequiometria estabelecida para a reação conduzida no CRV-100, fazendo com que a reação seja impossibilitada; b. Sobrenível nos equipamentos anteriores; c. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta
3	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle da água de utilidade do trocador de calor E-102	Existência de by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada na coluna, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle da água de utilidade do refeedor	Existência de by-pass.	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
3	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle da água de utilidade do condensador	Existência de by-pass.	a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-101, fazendo com que essa cavite e se danifique. b. Perdas financeiras c. Parada da planta.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Zero	Parada do recebimento de óleo desacidificado devido ao entupimento das linhas	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	<p>a. Interrupção do equilíbrio da coluna, por apenas o que já se encontrava presente irá recircular;</p> <p>b. Perdas financeiras;</p> <p>c. Mal funcionamento dos equipamentos;</p> <p>d. Perda de demais reagentes;</p> <p>e. Necessidade de parada da planta.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de filtros de linha com DP.</p>
3	Fluxo	Zero	Rompimento da linha de metanol	Corrente de Make-up (MeOH puro)	<p>a. Como não haveria alimentação da recuperação de Metanol, seria necessário alimentar o misturador Mix-102 apenas com o make-up de MeOH para que o processo seguisse continuamente;</p> <p>b. Criação de atmosfera inflamável e explosiva;</p> <p>c. Riscos ambientais;</p> <p>d. Riscos à saúde dos colaboradores;</p> <p>e. Perdas financeiras;</p> <p>f. Necessidade de operação de emergência para contenção do vazamento.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica das tubulações;</p> <p>b. Criação de procedimentos de segurança em caso de vazamento;</p> <p>c. Estudo constante das vazões das tubulações ao longo do tempo para identificar potenciais falhas.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-102 causado por desregulagens do controle	Existência de by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada na coluna, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
3	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do refeedor causado por desregulagens do controle	Existência de by-pass.	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do condensador causado por desregulagens do controle	Existência de by-pass.	a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-101, fazendo com que essa cavite e se danifique. b. Perdas financeiras c. Parada da planta.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
3	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de reciclo de MeOH devido a problemas de regulagem da válvula de controle	Existência de by-pass.	a. Com diminuição da recuperação do metanol, a estequiometria da reação seria prejudicada, reduzindo a produtividade; b. Perdas financeiras	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de reciclo de MeOH devido a problemas de regulagem da bomba	Existência de by-pass.	a. Com diminuição da recuperação do metanol, a estequiometria da reação seria prejudicada, reduzindo a produtividade; b. Perdas financeiras	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
3	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de óleo desacidificado devido a corrosão na linha	Não aplicável	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de reciclo de MeOH devido a corrosão na linha	Não aplicável	a. Com diminuição da recuperação do metanol, a estequiometria da reação seria prejudicada, reduzindo a produtividade; b. Criação de atmosfera inflamável e explosiva; c. Riscos ambientais; d. Riscos à saúde dos colaboradores; e. Perdas financeiras; f. Necessidade de operação de emergência para contenção do vazamento.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
3	Fluxo	Mais	Aumento na corrente de água utilidade do trocador de calor E-102 devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Alimentação de óleo de desacidificado com temperatura superior ao set point do controlador;	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
3	Fluxo	Mais	Aumento na corrente de água de utilidade do condensador devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de refluxo e de retorno de MeOH com temperatura inferior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Mais	Aumento na corrente de água do refeedor devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de saída do refeedor em temperatura superior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
3	Fluxo	Mais	Aumento na recuperação e MeOH devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Desequilíbrio na coluna de destilação T-100 devido a maior saída de condensado do que o necessário, causando a geração de produto fora de especificação; b. Perda financeira.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle.
3	Fluxo	Mais	Aumento na recuperação e MeOH devido a desconfiguração na bomba	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Desequilíbrio na coluna de destilação T-100 devido a maior saída de condensado do que o necessário, causando a geração de produto fora de especificação; b. Perda financeira.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica em bombas e equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de E10 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-102	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; e. Implantação de filtros de linha com DP.
3	Fluxo	Também	* Como todas as correntes de processo que poderiam ter contaminantes já foram analisadas, caso as recomendações forem aplicadas, não haveria risco de contaminação. Portanto aplicam-se as causas dos itens 1 e 2	Implementações propostas nos itens 1 e 2	a. Possível dano as tubulações e equipamentos devido ao contaminante; b. Produto final possivelmente fora de especificação c. Perda financeira; d. Perda dos reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem dos componentes recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do óleo de microalga para aferição com os resultados obtidos de caracterização.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Pressão	Menos	Diminuição da pressão da corrente de entrada na coluna de destilação devido a problemas na válvula de alívio de pressão	Malha de controle de pressão no topo da coluna.	a. Ocasiona desequilíbrio na coluna, fazendo com que as frações de saída não se mantenham segundo o desejado e, portanto, que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perda de reagentes; c. Perdas financeiras;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das válvulas e equipamentos; b. Implantação de alarme de pressão baixa no prato de entrada da coluna, para que sejam tomadas ações imediatas;
3	Pressão	Menos	Diminuição da pressão na coluna de destilação devido a desconfiguração da válvula de controle de entrada da água de utilidade no condensador	Não aplicável	a. Ocasiona desequilíbrio na coluna, fazendo com que as frações de saída não se mantenham segundo o desejado e, portanto, que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perda de reagentes; c. Perdas financeiras;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica dos sistemas de controle; b. Implantação de alarme de pressão baixa no prato de entrada da coluna, para que sejam tomadas ações imediatas;
3	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-102 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada na coluna devido a menor troca térmica, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não seja gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de vapor de utilidade no refeedor devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;
3	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no condensador devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-101, fazendo com que essa cavite e se danifique. b. Perdas financeiras c. Parada da planta.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Pressão	Mais	Aumento na pressão de entrada da coluna de destilação T-100 devido a defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão no topo da coluna.	a. Ocasional desequilíbrio na coluna, fazendo com que as frações de saída não se mantenham segundo o desejado e, portanto, que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perda de reagentes; c. Perdas financeiras;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das válvulas e equipamentos; b. Implantação de alarme de pressão alta no prato de entrada da coluna, para que sejam tomadas ações imediatas;
3	Pressão	Mais	Aumento na pressão da coluna de destilação T-100 devido a desconfiguração do controle de vazão da água de utilidade do condensador	Não aplicável.	a. Ocasional desequilíbrio na coluna, fazendo com que as frações de saída não se mantenham segundo o desejado e, portanto, que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perda de reagentes; c. Perdas financeiras;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Temperatura	Menos	Incrustação no trocador de calor E-102	Não aplicável	<p>a. O óleo de desacidificado não entra na coluna T-100 com a temperatura correta, fazendo com que a separação não seja efetiva;</p> <p>b. Produto final fora de especificação;</p> <p>c. Perda financeira;</p> <p>d. Perda de reagentes.</p>	Improvável	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos;</p> <p>b. Limpeza periódica de trocadores de calor;</p> <p>c. Execução de prévio tratamento de água;</p> <p>d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>f. Implantação de filtros de linha com DP.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Temperatura	Menos	Incrustação no refervedor	Malha de controle de temperatura no fundo da coluna	<p>a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento;</p> <p>b. Parada da planta para manutenção;</p> <p>c. Perdas financeiras.</p>	Improvável	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos;</p> <p>b. Limpeza periódica de trocadores de calor;</p> <p>c. Execução de prévio tratamento de água;</p> <p>d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>f. Implantação de filtros de linha com DP.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Temperatura	Menos	Incrustação no condensador	Malha de controle de pressão no topo da coluna.	<p>a. Uma menor carga de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-101, fazendo com que essa cavite e se danifique.</p> <p>b. Perdas financeiras</p> <p>c. Parada da planta.</p>	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	<p>a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos;</p> <p>b. Limpeza periódica de trocadores de calor;</p> <p>c. Execução de prévio tratamento de água;</p> <p>d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>f. Implantação de filtros de linha com DP.</p>
3	Temperatura	Menos	Diminuição da temperatura da corrente E-10 devido a problemas no controle	Não aplicável	<p>a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada na coluna, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente;</p> <p>b. Perdas financeiras;</p> <p>c. Perda de reagentes;</p> <p>d. Interrupção do processo;</p>	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	<p>a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;</p> <p>b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Temperatura	Menos	Diminuição na temperatura de fundo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, acarretando numa mistura de composição diferente do esperado, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.
3	Temperatura	Menos	Diminuição na temperatura de topo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de refluxo e de retorno de MeOH com temperatura inferior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle. b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.
3	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura da corrente E-10 devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Alimentação de óleo de desacidificado com temperatura superior ao set point do controlador;	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
3	Temperatura	Mais	Aumento na temperatura de fundo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de saída do refeedor em temperatura superior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle. b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
3	Temperatura	Mais	Aumento na temperatura de topo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	<p>a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-101, fazendo com que essa cavite e se danifique.</p> <p>b. Perdas financeiras</p> <p>c. Parada da planta.</p>	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	<p>a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;</p> <p>b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Zero	Fluxo zero de entrada na torre de lavagem T-101 devido a problemas na bomba por entupimento da linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância. Malha de controle de vazão de Glicerol.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implementação de indicadores de nível na torre de lavagem T-101 para controle. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Zero	Fluxo zero de entrada na torre de lavagem T-101 devido a problemas na bomba por queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores;
4	Fluxo	Zero	Interrupção de fluxo de água de utilidade do trocador de calor E-103 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento T-101, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo; e. Dano aos equipamentos.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Zero	Não alimentação da corrente de glicerol devido a falha na válvula de controle em posição totalmente fechada.	Existência de by-pass.	a. A não alimentação de glicerol faz com que a lavagem não se executada e, portanto, o produto seria gerado com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
4	Fluxo	Zero	Não alimentação da corrente de glicerol devido a entupimento da linha.	Não aplicado.	a. A não alimentação de glicerol faz com que a lavagem não se executada e, portanto, o produto seria gerado com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção do encanamento;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Zero	Entupimento na linha de saída E17.	Não aplicado.	a. Interrupção do processo; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
4	Fluxo	Zero	Entupimento na linha de saída E16.	Não aplicado.	a. Perdas financeiras; b. Perda de reagentes; c. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Menos	Falha na bomba de transporte da entrada da torre de lavagem T-101	Todas as bombas foram projetadas em redundância. Malha de controle de vazão de Glicerol.	a. Perda de produtividade b. Perdas financeiras; c. Entrada da corrente na torre T-101 em temperatura mais baixa do que o especificado.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.
4	Fluxo	Menos	Diminuição na corrente de glicerol devido a problemas no controle	Existência de by-pass.	a. A alimentação de uma quantidade de glicerol menor do que a especificada faz com que a lavagem não se executada corretamente e, portanto, o produto seria gerado ainda com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de água de utilidade do trocador de calor E-103 devido a incrustação.	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento T-101, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo; e. Dano aos equipamentos.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
4	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de entrada da torre T-101 devido a corrosão na linha	Não aplicado.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção; f. Possível dano à saúde dos colaboradores.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída E17 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. Perda de produtividade; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP. e. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
4	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída E16 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. Perdas financeiras; b. Perda de reagentes; c. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP. e. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Mais	Aumento da vazão de entrada da torre de lavagem T-101 devido a desconfiguração da bomba	Malha de controle de vazão de glicerol.	a. Aumento da temperatura de entrada na torre; b. Sobrenível do equipamento devido a alta vazão de todos os componentes pode causar contaminação no restante do processo; c. Possível dano aos equipamentos.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos; b. Implantação de controle de nível na torre de lavagem T-101.
4	Fluxo	Mais	Aumento da vazão de glicerol devido a desconfiguração no controle.	Não aplicado.	a. Desperdício de componentes; b. Sobrenível do equipamento devido a alta vazão do componente pode causar contaminação no restante do processo; c. Possível dano aos equipamentos	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta. d. Implantação de controle de nível na torre de lavagem T-101.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de E15 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-103	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
4	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-103 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A corrente seria alimentada na torre T-101 em menor temperatura do que a determinada em projeto, podendo ocasionar problemas durante a separação, fazendo com que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de glicerol devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A alimentação de uma quantidade de glicerol menor do que a especificada faz com que a lavagem não se executada corretamente e, portanto, o produto seria gerado ainda com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos; b. Implantação de controle de concentração na torre T-101.
4	Pressão	Mais	Aumento na pressão de saída da corrente de glicerol devido a desconfiguração da válvula de controle	Não aplicável.	a. Desperdício de componentes; b. Sobrenível do equipamento devido a alta vazão do componente pode causar contaminação no restante do processo; c. Possível dano aos equipamentos d. Perda de reagentes; e. Perdas financeiras;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
4	Temperatura	Menos	Diminuição da temperatura da corrente E-15 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-103	Não aplicável.	a. A corrente não entra na torre T-101 na temperatura correta, fazendo com que possivelmente não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;
4	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura da corrente E-15 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-103	Não aplicável.	a. A corrente não entra na torre T-101 na temperatura correta, fazendo com que possivelmente não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Não alimentação de NaOH devido a não reabastecimento da corrente	Usualmente, existem estoques de matéria prima para alguns dias de produção (Não informado no fluxograma)	a. Como o NaOH é o catalisador da reação, o interrompimento de seu fluxo impede a geração de biodiesel nas condições estudadas; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Reestudo do tamanho dos tanques de armazenamento para verificar se estão suficientemente dimensionados em caso de problemas de logística; b. Indicações de nível através de instrumentações simples no tanque de armazenamento do catalisador para que quando esteja em estado baixo ou crítico informe aos operadores por meio de alarmes sonoros ou visuais; c. Estudo de mais fornecedores para contatos de emergência.
5	Fluxo	Zero	Não alimentação de NaOH devido a falha na bomba de transporte ao misturador	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Como o NaOH é o catalisador da reação, o interrompimento de seu fluxo impede a geração de biodiesel nas condições estudadas; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Não alimentação de NaOH devido a queda de energia que causou parada nas bombas	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Como o NaOH é o catalisador da reação, o interrompimento de seu fluxo impede a geração de biodiesel nas condições estudadas; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.
5	Fluxo	Zero	Não recebimento da corrente de MeOH devido a rompimento na linha	Não aplicado.	a. Como não haveria alimentação de Metanol, a reação não ocorreria; b. Criação de atmosfera inflamável e explosiva; c. Riscos ambientais; d. Riscos à saúde dos colaboradores; e. Perdas financeiras; f. Necessidade de operação de emergência para contenção do vazamento. g. Desperdício de reagentes;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Criação de procedimentos de segurança em caso de vazamento; c. Estudo constante das vazões das tubulações ao longo do tempo para identificar potenciais falhas.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Parada da válvula de controle na entrada T2 do CRV-101 na posição de totalmente fechada	Existência de um by-pass.	<ul style="list-style-type: none"> a. Não abastecimento da mistura reacional do equipamento MIX-103 para o reator CRV-101, fazendo com que não exista a reação; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes; e. Acarretará problemas de sobrenível em equipamentos devido a retenção de corrente. 	Raro	Grande	Não aceitável	<ul style="list-style-type: none"> a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Não alimentação de Make-up de MeOH devido a não reabastecimento da corrente	Usualmente, existem estoques de matéria prima para alguns dias de produção (Não informado no fluxograma)	a. Como MeOH é um dos reagentes para geração do produto, acarretaria na reação somente com o metanol de reciclo, fazendo com que tenha perda de produtividade; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	1	Grande	Não aceitável	a. Reestudo do tamanho dos tanques de armazenamento para verificar se estão suficientemente dimensionados em caso de problemas de logística; b. Indicações de nível através de instrumentações simples no tanque de armazenamento do catalisador para que quando esteja em estado baixo ou crítico informe aos operadores por meio de alarmes sonoros ou visuais; c. Estudo de mais fornecedores para contatos de emergência. d. Implantação de um sistema de análise de vazão na corrente de saída do MIX-104, fazendo com que as correntes de NaOH e óleo de microalga sejam reguladas de acordo com o fluxo de MeOH existente.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Não alimentação de Make-up de MeOH devido a falha na bomba de transporte ao misturador	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	<p>a. Como MeOH é um dos reagentes para geração do produto, acarretaria na reação somente com o metanol de reciclo, fazendo com que tenha perda de produtividade;</p> <p>b. Gera retrabalho;</p> <p>c. Problemas na planta;</p> <p>d. Perdas financeiras.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de um sistema de análise de vazão na corrente de saída do MIX-104, fazendo com que as correntes de NaOH e óleo de microalga sejam reguladas de acordo com o fluxo de MeOH existente.</p> <p>e. Implantação de filtros de linha com DP.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Não alimentação de Make-up de MeOH devido a queda de energia que causou parada nas bombas	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Como MeOH é um dos reagentes para geração do produto, acarretaria na reação somente com o metanol de reciclo, fazendo com que tenha perda de produtividade; b. Gera retrabalho; c. Problemas na planta; d. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores. e. Implantação de um sistema de análise de vazão na corrente de saída do MIX-104, fazendo com que as correntes de NaOH e óleo de microalga sejam reguladas de acordo com o fluxo de MeOH existente.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Interrupção de fluxo de água de utilidade do trocador de calor E-104 devido a incrustação na linha.	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento CRV-101, interferindo na velocidade da reação, porém, devido ao controle de temperatura do reator, o resultado final não seria muito prejudicado.	Raro	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
5	Fluxo	Zero	Interrupção da vazão da água de utilidade da camisa do reator CRV-101 devido a falha da válvula de controle na posição totalmente fechada.	Existência de by-pass.	a. O reator não se manteria na temperatura correta para a reação, fazendo com que o produto seja formado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
5	Fluxo	Zero	Interrupção da vazão da água de utilidade da camisa do reator CRV-101 devido a incrustação na linha	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. O reator não se manteria na temperatura correta para a reação, fazendo com que o produto seja formado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Zero	Fluxo zero na corrente de entrada do trocador E-104 devido a entupimento da linha	Não aplicado.	a. Não abastecimento do óleo no misturador MIX-103 e no reator CRV-101, fazendo com que não exista a reação; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes; e. Acarretará problemas de sobrenível em equipamentos devido a retenção de corrente.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Inserção de tanques de armazenamento após a saída da corrente E-17, para que não ocorra sobrenível dos equipamentos e que o reagente não se perca. e. Implantação de filtros de linha com DP.
5	Fluxo	Menos	Corrosão nas linhas de transporte de make-up	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção. f. Criação de área inflamável; g. Riscos à saúde dos colaboradores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Menos	Corrosão nas linhas de transporte de NaOH	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção. f. Riscos à saúde dos colaboradores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
5	Fluxo	Menos	Corrosão nas tubulações de transporte de reagentes até o reator	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção; f. Possível criação de zona inflamável; g. Possível dano à saúde dos colaboradores.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Menos	Desconfiguração no controle de vazão na entrada do reator CRV-101	Existência de um by-pass.	a. Possíveis problemas na reação devido ao baixo nível, que acarretaria em problemas na agitação do reator; b. Possível geração de produto fora das especificações; c. Diminuição da produtividade da planta; d. Perdas financeiras; e. Geração de sobrenível em equipamentos anteriores devido ao acúmulo na linha.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle.
5	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de água de utilidade do trocador de calor E-104 devido a incrustação.	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento CRV-101, interferindo na velocidade da reação, porém, devido ao controle de temperatura do reator, o resultado final não seria muito prejudicado.	Raro	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Menos	Diminuição da vazão da água de utilidade da camisa do reator CRV-101 devido a problemas no controle de temperatura do reator.	Existência de by-pass.	a. O reator não se manteria na temperatura correta para a reação, fazendo com que o produto seja formado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
5	Fluxo	Menos	Diminuição da vazão da água de utilidade da camisa do reator CRV-101 devido a incrustação na linha.	Não aplicado.	a. O reator não se manteria na temperatura correta para a reação, fazendo com que o produto seja formado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
5	Fluxo	Mais	Desconfiguração no controle vazão de entrada do reator CRV-101	Não aplicável.	a. Sobrenível do reator CRV-101, podendo causar insuficiência na agitação e geração de produto fora das especificações;	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
5	Fluxo	Mais	Mal regulagem da bomba de abastecimento de NaOH	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Excesso de catalisador na mistura reacional, o que pode acarretar problemas de reação; b. Desperdício de catalisador	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Mais	Mal regulagem da bomba de abastecimento de Make up	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Excesso de metanol na mistura reacional, ocasionando a necessidade de maior reciclo.	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.
5	Fluxo	Mais	Aumento da vazão da água de utilidade da camisa do reator CRV-101 devido a problemas no controle de temperatura do reator.	Não aplicável.	a. O aumento do fluxo na camisa do reator, não acarretará mudanças significativas na reação.	Raro	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
5	Fluxo	Também	Entrada de contaminantes na corrente de Make-up no MIX-104	Não aplicável.	a. Entrada de contaminantes no reator CRV-101, podendo acarretar danos a reação e reações paralelas; b. Possíveis danos a tubulações e equipamentos; c. Possível perda de reagentes; d. Possível descaracterização do processo;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem do metanol recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do metanol para aferição com os resultados obtidos de caracterização.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Fluxo	Também	Entrada de contaminantes na corrente de NaOH no MIX-105	Não aplicável.	a. Entrada de contaminantes no reator CRV-101, podendo acarretar danos a reação e reações paralelas; b. Possíveis danos a tubulações e equipamentos; c. Possível perda de reagentes; d. Possível descaracterização do processo;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem do NaOH recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do NaOH para aferição com os resultados obtidos de caracterização.
5	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de E17 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-104	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-104 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A mistura reacional não entra no reator CRV-101 na temperatura correta devido a menor troca térmica, fazendo com que a reação tenha início mais lento; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes; e. Possíveis riscos à saúde dos colaboradores devido a temperatura da água.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;
5	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade na camisa do reator CRV-101 devido a vazamentos	Malha de controle de temperatura para a identificação de incongruências.	a. Devido a baixa pressão, a troca térmica é prejudicada, fazendo com que a reação não ocorra forma devida, e que o produto formado esteja fora das especificações; b. Perda financeira. c. Perda de reagentes. d. Possíveis riscos à saúde dos colaboradores devido a temperatura da água.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Pressão	Mais	Aumento da pressão devido a aumento na temperatura da mistura reacional devido a problemas no controle da camisa	Não aplicado.	<p>a. Devido aos vapores de metanol que seriam liberados com o aumento da temperatura, a pressão consequentemente aumentaria, fazendo com que não houvesse reação, por causa da separação de fases;</p> <p>b. Tal aumento de pressão pode fazer com que os fluxos se revertam, acionando as válvulas de bloqueio. Em casos extremos, o aumento significativo de pressão pode causar danos a estrutura do reator, fazendo com que este se rompa. Caso isso venha acontecer, podem se adicionar às consequências: riscos à saúde dos colaboradores; Riscos ao meio ambiente e danos a planta.;</p> <p>c. Perda financeira;</p> <p>d. Perda de reagentes.</p>	Raro	Catastrófica	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica no controle;</p> <p>b. Manutenção de reatores e seus sistemas de segurança;</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Pressão	Mais	Aumento da pressão na camisa devido a incrustação.	Não aplicado.	a. Devido a camada de incrustação, a pressão aumenta e a troca de calor diminui, fazendo com que a vazão aumente devido as malhas de controle de temperatura, aumento ainda mais a pressão continuamente; b. Danos a equipamentos; c. Perda financeira.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. f. Indicadores, alarmes e intertravamentos para interromper e monitorar o fluxo de vapor em caso de pressões muito altas. g. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Temperatura	Menos	Incrustação no trocador de calor E-104	Não aplicável	a. O óleo de microalga não entra no equipamento MIX-103 e no reator CRV-101 na temperatura correta, interferindo na velocidade da reação, porém, devido ao controle de temperatura do reator, o resultado final não seria muito prejudicado.	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. f. Implantação de filtros de linha com DP.
5	Temperatura	Menos	Diminuição da temperatura do reator CRV-101 devido a menor fluxo da água de utilidade da camisa por desconfiguração do controle	Existência de by-pass.	a. O reator não se manteria na temperatura correta para a reação, fazendo com que o produto seja formado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
5	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura do reator CRV-101 devido a maior fluxo da água de utilidade da camisa por desconfiguração do controle	Não aplicável.	a. O aumento do fluxo na camisa do reator, não acarretará mudanças significativas na reação.	Raro	Insignificante	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
5	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura da corrente T1 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-104	Não aplicável.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento CRV-101, interferindo na velocidade da reação, porém, devido ao controle de temperatura do reator, o resultado final não seria muito prejudicado.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;
6	Fluxo	Zero	Interrupção do fluxo de água de utilidade do trocador E-105 devido a falha da válvula de controle na posição totalmente fechada	Existência de by-pass.	a. O óleo transesterificado passaria pela válvula alívio de pressão e entraria no vaso flash V-101 em temperatura abaixo da de trabalho do equipamento, fazendo com que a separação não ocorra corretamente, portanto o produto seguiria com maior quantidade de resíduos. b. Possível perda financeira; c. Possível perda de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Interrupção do fluxo de água de utilidade do trocador E-105 devido a incrustação na linha	Não aplicável.	<p>a. O óleo transesterificado passaria pela válvula alívio de pressão e entraria no vaso flash V-101 em temperatura abaixo da de trabalho do equipamento, fazendo com que a separação não ocorra corretamente, portanto o produto seguiria com maior quantidade de resíduos.</p> <p>b. Possível perda financeira;</p> <p>c. Possível perda de reagentes.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica das tubulações;</p> <p>b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade.</p> <p>c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.</p>
6	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle na entrada do separador flash V-101 na posição totalmente fechada	Existência de by-pass.	<p>a. Acarretaria no não abastecimento do separador V-101, impossibilitando a reação e interrompendo o processo;</p> <p>b. Perdas financeiras</p> <p>c. Perda de reagentes;</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;</p> <p>b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;</p> <p>c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Interrupção do fluxo de entrada no vaso Flash V-101 devido a entupimento na linha.	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Acarretaria no não abastecimento do separador V-101, impossibilitando a reação e interrompendo o processo; b. Perdas financeiras c. Perda de reagentes;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Interrupção da corrente T6 devido a entupimento da linha	Não aplicado.	a. Causaria a interrupção do processo de destilação e recuperação de metanol, diminuindo a produtividade; b. Causaria sobrenível em equipamentos anteriores. c. Perdas financeiras; d. Perdas de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Interrupção da corrente T5 devido a entupimento da linha	Não aplicado.	a. Causaria a interrupção do processo de lavagem do biodiesel, perdendo produto; b. Causaria sobrenível em equipamentos anteriores. c. Perdas financeiras; d. Perdas de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
6	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle da água de utilidade do refulvedor na posição totalmente fechada	Existência de by-pass.	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle da água de utilidade do condensador na posição totalmente fechada	Existência de by-pass.	<p>a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-101, fazendo com que essa cavite e se danifique.</p> <p>b. Perdas financeiras</p> <p>c. Parada da planta.</p>	Raro	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;</p> <p>b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;</p> <p>c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.</p>
6	Fluxo	Zero	Falha da válvula de controle na saída de MeOH do condensador na posição totalmente fechada	Existência de by-pass.	<p>a. Impedimento no reciclo de MeOH, que causa um desequilíbrio na estequiometria estabelecida para a reação conduzida no CRV-101, fazendo com que a reação seja impossibilitada;</p> <p>b. Sobrenível nos equipamentos anteriores;</p> <p>c. Perdas financeiras.</p>	Improvável	Grande	Não aceitável	<p>a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;</p> <p>b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;</p> <p>c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Falha da bomba P-104 na saída de meoh do condensador queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Impedimento no reciclo de MeOH, que causa um desequilíbrio na estequiometria estabelecida para a reação conduzida no CRV-100, fazendo com que a reação seja impossibilitada; b. Sobrenível nos equipamentos anteriores; c. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.
6	Fluxo	Zero	Falha da bomba P-104 na saída de meoh do condensador por entupimento da linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Impedimento no reciclo de MeOH, que causa um desequilíbrio na estequiometria estabelecida para a reação conduzida no CRV-101, fazendo com que a reação seja impossibilitada; b. Sobrenível nos equipamentos anteriores; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Zero	Interrupção do fluxo de água de utilidade do trocador E-109 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no MIX-104 e posteriormente no CRV-101, porém como o reator trabalha encamisado, a diferença de temperatura não causaria influência real.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
6	Fluxo	Zero	Interrupção da corrente T7 na saída do refeedor devido a entupimento da linha	Não aplicável.	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
6	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-105 causado por desregulagens do controle	Existência de by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no vaso flash V-101 na coluna T-102, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do refeedor causado por desregulagens do controle	Existência de by-pass.	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
6	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do condensador causado por desregulagens do controle	Existência de by-pass.	a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-104, fazendo com que essa cavite e se danifique. b. Perdas financeiras c. Parada da planta.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída T5 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. Causaria a diminuição na corrente do processo de lavagem do biodiesel, perdendo produto; b. Causaria sobrenível em equipamentos anteriores. c. Perdas financeiras; d. Perdas de reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP. e. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de reciclo de MeOH devido a problemas de regulagem da válvula de controle	Existência de by-pass.	a. Com diminuição da recuperação do metanol, a estequiometria da reação seria prejudicada, reduzindo a produtividade; b. Perdas financeiras	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de reciclo de MeOH devido a problemas de regulagem da bomba	Existência de by-pass.	a. Com diminuição da recuperação do metanol, a estequiometria da reação seria prejudicada, reduzindo a produtividade; b. Perdas financeiras	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de óleo desacidificado devido a corrosão na linha	Não aplicável	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de reciclo de MeOH devido a corrosão na linha	Não aplicável	a. Com diminuição da recuperação do metanol, a estequiometria da reação seria prejudicada, reduzindo a produtividade; b. Criação de atmosfera inflamável e explosiva; c. Riscos ambientais; d. Riscos à saúde dos colaboradores; e. Perdas financeiras; f. Necessidade de operação de emergência para contenção do vazamento.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-109 por incrustação na linha	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no MIX-104 e posteriormente no CRV-101, porém como o reator trabalha encamisado, a diferença de temperatura não causaria influência real.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de entrada T6 da torre T-102 devido a corrosão na linha	Não aplicado.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção; f. Possível dano à saúde dos colaboradores.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
6	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída T7 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP. f. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Mais	Aumento da corrente de água de utilidade E-105 problemas no controle de vazão	Não aplicável	a. Alimentação de óleo de desacidificado com temperatura superior ao set point do controlador;	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
6	Fluxo	Mais	Aumento na corrente de entrada do vaso Flash V-101 devido a problemas de controle	Não aplicável.	a. Sobrenível do vaso Flash, causando a não separação das correntes; b. Perda de reagentes; c. Perda de produto; d. Transbordamento do óleo de microalga; e. Geração de produto fora de especificação.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-101, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-101 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.
6	Fluxo	Mais	Aumento na corrente de água de utilidade do condensador devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de refluxo e de retorno de MeOH com temperatura inferior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
6	Fluxo	Mais	Aumento na corrente de água do refeedor devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de saída do refeedor em temperatura superior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Mais	Aumento na recuperação e MeOH devido a problema na configuração da válvula	Não aplicável	a. Desequilíbrio na coluna de destilação T-102 devido a maior saída de condensado do que o necessário, causando a geração de produto fora de especificação; b. Perda financeira. c. Necessidade de parada do processo. d. Perda de reagentes	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica no controle.
6	Fluxo	Mais	Aumento na recuperação e MeOH devido a desconfiguração na bomba	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Desequilíbrio na coluna de destilação T-102 devido a maior saída de condensado do que o necessário, causando a geração de produto fora de especificação; b. Perda financeira. c. Necessidade de parada do processo. d. Perda de reagentes	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica em bombas e equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de T15 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-109	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de metanol, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
6	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de T3 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-105	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Pressão	Menos	Defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. O vaso Flash V-101 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-101, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-101 caso este esteja fora da especificação;
6	Pressão	Menos	Vazamento nas tubulações.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. O vaso Flash V-101 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-101, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-101 caso este esteja fora da especificação;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Pressão	Menos	Defeito no controle de pressão do vaso Flash V-101.	Não aplicada.	a. O vaso Flash V-101 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-101, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-101 caso este esteja fora da especificação;
6	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-105 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada na coluna devido a menor troca térmica, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não seja gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;
6	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de vapor de utilidade no refulvedor devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no condensador devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-104, fazendo com que essa cavite e se danifique. b. Perdas financeiras c. Parada da planta.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;
6	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-109 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada na coluna devido a menor troca térmica, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não seja gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;
6	Pressão	Mais	Defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no óleo de microalga caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. Parada do processo para manutenção; b. Menor produção, pois o controle de pressão do vaso V-101 fará com que a vazão do óleo seja muito menor do que o set point da planta; c. Perda financeira.	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Pressão	Mais	Aumento na pressão da coluna de destilação T-102 devido a desconfiguração do controle de vazão da água de utilidade do condensador	Não aplicável.	a. Ocasiona desequilíbrio na coluna, fazendo com que as frações de saída não se mantenham segundo o desejado e, portanto, que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perda de reagentes; c. Perdas financeiras;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
6	Temperatura	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-105 causado por desregulagens do controle	Existência de um by-pass.	a. O óleo transesterificado não entra no vaso Flash V-101 com a temperatura correta, fazendo com que a separação não seja efetiva; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-101, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-101 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Temperatura	Menos	Incrustação na linha de água de utilidade do trocador de calor E-105	Não aplicável	a. O óleo transesterificado não entra no vaso Flash V-101 com a temperatura correta, fazendo com que a separação não seja efetiva; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.
6	Temperatura	Menos	Incrustação no refervedor	Malha de controle de temperatura no fundo da coluna	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Temperatura	Menos	Diminuição na temperatura de fundo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Desequilíbrio na coluna, fazendo com que a destilação não ocorra de forma correta, portanto o equilíbrio dos pratos se perde até o reinício do equipamento; b. Parada da planta para manutenção; c. Perdas financeiras.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.
6	Temperatura	Menos	Diminuição na temperatura de topo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de refluxo e de retorno de MeOH com temperatura inferior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle. b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.
6	Temperatura	Menos	Diminuição da temperatura da corrente T15 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-109	Não aplicável.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no MIX-104 e posteriormente no CRV-101, porém como o reator trabalha encamisado, a diferença de temperatura não causaria influência real.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Temperatura	Mais	Incrustação no condensador	Malha de controle de pressão no topo da coluna.	a. Uma menor carga de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-104, fazendo com que essa cavite e se danifique. b. Perdas financeiras c. Parada da planta.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.
6	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura da corrente T3 devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Alimentação de óleo desesterificado com temperatura superior ao set point do controlador;	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.
6	Temperatura	Mais	Aumento na temperatura de fundo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	a. Realimentação da corrente de saída do refeedor em temperatura superior ao set point do sistema; b. Desperdício de recursos.	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle. b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
6	Temperatura	Mais	Aumento na temperatura de topo da coluna devido a problemas no controle	Não aplicável	<p>a. A falta de água fria no condensador faz com que a corrente de metanol não se condense, e, por conta disso não retorne a coluna. Por conta disso, o equilíbrio líquido-vapor no equipamento será prejudicado. Outro fator importante de mencionar é que o vapor de metanol passaria pela bomba P-104, fazendo com que essa cavite e se danifique.</p> <p>b. Perdas financeiras</p> <p>c. Parada da planta.</p>	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	<p>a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;</p> <p>b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.</p>
6	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura da corrente T15 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-109	Não aplicável.	<p>a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no MIX-104 e posteriormente no CRV-101, porém como o reator trabalha encamisado, a diferença de temperatura não causaria influência real.</p>	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p>

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Zero	Fluxo zero de entrada na torre de lavagem T-103 devido a problemas na bomba P-103 por entupimento da linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância. Malha de controle de vazão de água de lavagem.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implementação de indicadores de nível na torre de lavagem T-103 para controle. e. Implantação de filtros de linha com DP.
7	Fluxo	Zero	Fluxo zero de entrada na torre de lavagem T-103 devido a problemas na bomba por queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Zero	Interrupção de fluxo de água de utilidade do trocador de calor E-106 devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento T-103, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo; e. Dano aos equipamentos.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
7	Fluxo	Zero	Não alimentação da corrente de água devido a falha na válvula de controle em posição totalmente fechada.	Existência de by-pass.	a. A não alimentação de água faz com que a lavagem não se executada e, portanto, o produto seria gerado com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Zero	Não alimentação da corrente de água devido a entupimento da linha.	Não aplicado.	a. A não alimentação de água faz com que a lavagem não se executada e, portanto, o produto seria gerado com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção do encanamento;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
7	Fluxo	Zero	Entupimento na linha de saída de biodiesel.	Não aplicado.	a. Interrupção do processo; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
7	Fluxo	Zero	Entupimento na linha de saída refinado.	Não aplicado.	a. Perdas financeiras; b. Perda de reagentes; c. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Menos	Falha na bomba de transporte P-103 da entrada da torre de lavagem T-103	Todas as bombas foram projetadas em redundância. Malha de controle de vazão de água.	a. Perda de produtividade b. Perdas financeiras; c. Entrada da corrente na torre T-103 em temperatura mais baixa do que o especificado.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.
7	Fluxo	Menos	Diminuição na corrente de água de lavagem devido a problemas no controle	Existência de by-pass.	a. A alimentação de uma quantidade de água menor do que a especificada faz com que a lavagem não se executada corretamente e, portanto, o produto seria gerado ainda com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
7	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de água de utilidade do trocador de calor E-106 devido a incrustação.	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento T-103, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo; e. Dano aos equipamentos.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de entrada da torre T-103 devido a corrosão na linha	Não aplicado.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção; f. Possível dano à saúde dos colaboradores.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
7	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída de biodiesel devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. Perda de produtividade; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
7	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída de refinado devido a incrustação na linha	Não aplicado.	a. Perdas financeiras; b. Perda de reagentes; c. Sobrenível nos equipamentos anteriores;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Mais	Aumento da vazão de entrada da torre de lavagem T-103 devido a desconfiguração da bomba	Malha de controle de vazão de água.	a. Aumento da temperatura de entrada na torre; b. Sobrenível do equipamento devido a alta vazão de todos os componentes pode causar contaminação no restante do processo; c. Possível dano aos equipamentos.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos; b. Implantação de controle de nível na torre de lavagem T-103.
7	Fluxo	Mais	Aumento da vazão de água devido a desconfiguração no controle.	Não aplicado.	a. Desperdício de componentes; b. Sobrenível do equipamento devido a alta vazão do componente pode causar contaminação no restante do processo; c. Possível dano aos equipamentos	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta. d. Implantação de controle de nível na torre de lavagem T-103.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de T9 devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-106	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
7	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água de utilidade no trocador de calor E-106 devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A corrente seria alimentada na torre T-103 em menor temperatura do que a determinada em projeto, podendo ocasionar problemas durante a separação, fazendo com que o produto seja gerado fora das especificações; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Pressão	Menos	Baixa pressão na entrada de água devido a vazamento na tubulação	Não aplicável	a. A alimentação de uma quantidade de água menor do que a especificada faz com que a lavagem não se executada corretamente e, portanto, o produto seria gerado ainda com impurezas e resíduos da reação, estando fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo para manutenção;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica nas tubulações e equipamentos; b. Implantação de controle de concentração na torre T-103.
7	Pressão	Mais	Aumento na pressão de saída da corrente de água devido a desconfiguração da válvula de controle	Não aplicável.	a. Desperdício de componentes; b. Sobrenível do equipamento devido a alta vazão do componente pode causar contaminação no restante do processo; c. Possível dano aos equipamentos d. Perda de reagentes; e. Perdas financeiras;	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
7	Temperatura	Menos	Diminuição da temperatura da corrente T9 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-106	Não aplicável.	a. A corrente não entra na torre T-103 na temperatura correta, fazendo com que possivelmente não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
7	Temperatura	Mais	Aumento da temperatura da corrente T9 devido a alteração nas vazões do trocador de calor E-106	Não aplicável.	a. A corrente não entra na torre T-103 na temperatura correta, fazendo com que possivelmente não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira;	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;
8	Fluxo	Zero	Falha na alimentação do tanque V-102 devido ao travamento da válvula de controle em posição totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de demais reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
8	Fluxo	Zero	Não alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-107 devido a trava da válvula na posição totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento V-102, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Zero	Não alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-107 devido a entupimento na linha	Não aplicado.	a. O reagente ficaria fora de especificação para a entrada no instrumento V-102, descaracterizando o processo e fazendo com que o produto final não fosse gerado adequadamente; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes; d. Interrupção do processo;	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade.
8	Fluxo	Zero	Não alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-108 devido a trava da válvula na posição totalmente fechada	Existência de um by-pass.	a. Saída do biodiesel em alta temperatura para o tanque de armazenamento, possivelmente causando danos ao equipamento e perda de produto; b. Possível perda financeira; c. Possível perda de produto.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.
8	Fluxo	Zero	Não alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-108 devido a entupimento na linha	Não aplicado.	a. Saída do biodiesel em alta temperatura para o tanque de armazenamento, possivelmente causando danos ao equipamento e perda de produto; b. Possível perda financeira; c. Possível perda de produto.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Zero	Falha da bomba P-105 por entupimento na linha	Todas as bombas foram projetadas em redundância.	a. Impedimento na saída de biodiesel, causando sobrenível dos equipamentos anteriores e necessidade de parada do processo; b. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
8	Fluxo	Zero	Falha da bomba P-105 por queda de energia	Não aplicável. Usualmente existem geradores.	a. Impedimento na saída de biodiesel, causando sobrenível dos equipamentos anteriores e necessidade de parada do processo; b. Perdas financeiras.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.
8	Fluxo	Menos	Baixa alimentação na entrada de biodiesel devido a corrosão.	Não aplicável.	a. Vazamento de reagente; b. Contaminação do ambiente; c. Diminuição da produção; d. Perda financeira; e. Parada da planta para manutenção.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Menos	Baixa alimentação na entrada de biodiesel devido a entupimento na linha.	Não aplicável.	a. Diminuição da produção; b. Perda financeira; c. Parada da planta para manutenção.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
8	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-107 causado por desregulagens do controle	Existência de um by-pass.	a. O biodiesel não entra no equipamento V-102 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-102, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-102 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-107 causado por incrustação na linha.	Não aplicável.	a. O biodiesel não entra no equipamento V-102 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.
8	Fluxo	Menos	Diminuição da corrente de saída de biosiedel devido a regulagem da bomba	Não aplicável.	a. Com diminuição da saída de biodiesel, causaria sobrenível dos demais equipamentos, necessitando da parada do processo. b. Perdas financeiras	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.
8	Fluxo	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-108 causado por incrustação na linha.	Não aplicável.	a. Saída do biodiesel em alta temperatura para o tanque de armazenamento, possivelmente causando danos ao equipamento e perda de produto; b. Possível perda financeira; c. Possível perda de produto.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Mais	Aumento da corrente de saída de biodiesel devido a regulagem da bomba	Não aplicável.	a. O aumento da saída de biodiesel poderia acarretar na não separação correta da água, além de menor resfriamento. b. Necessidade de retrabalho; c. Perdas financeiras; d. Perda de produto.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Manutenção periódica de bombas e equipamentos.
8	Fluxo	Mais	Desregulagem do controle de alimentação do vaso Flash.	Não aplicável.	a. Sobrenível do vaso Flash, causando a não separação das correntes; b. Perda de reagentes; c. Perda de produto; d. Transbordamento do biodiesel; e. Geração de produto fora de especificação.	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-102, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-102 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.
8	Fluxo	Mais	Desregulagem do controle de alimentação da água de utilidade para aquecimento do trocador de calor E-107.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no biodiesel caso haja algum problema de pressão excessiva.	a. Alimentação de biodiesel com temperatura superior ao set point do controlador;	Raro	Pequena	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica no controle.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Também	Recebimento do biodiesel fora de especificação.	Não aplicável.	a. Possível dano as tubulações e equipamentos devido ao contaminante; b. Produto final possivelmente fora de especificação c. Perda financeira; d. Perda dos reagentes.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Avaliação prévia por amostragem do biodiesel recebido; b. Solicitação dos laudos de caracterização do biodiesel para aferição com os resultados obtidos de caracterização.
8	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de entrada do separador flash devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-107	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de biodiesel, causando a necessidade de diferente vazão do processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Fluxo	Também	Entrada de água na corrente de saída de biodiesel tratado devido a corrosão das tubulações internas no trocador de calor E-108	Não aplicado.	a. Contaminação da corrente de biodiesel, causando a necessidade de novo início do processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
8	Pressão	Menos	Defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no biodiesel caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. O vaso Flash V-102 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-102, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-102 caso este esteja fora da especificação;

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Pressão	Menos	Vazamento nas tubulações.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no biodiesel caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. O vaso Flash V-102 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-102, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-102 caso este esteja fora da especificação;
8	Pressão	Menos	Defeito no controle de pressão do vaso Flash V-102.	Não aplicada.	a. O vaso Flash V-102 não funcionaria adequadamente, gerando produto fora de especificação; b. Perda financeira; c. Perda de produto;	Raro	Moderado	Aceitável / Transferível	a. Manutenção periódica dos sistemas de controle; b. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-102, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-102 caso este esteja fora da especificação;
8	Pressão	Mais	Defeito na válvula de alívio de pressão.	Malha de controle de pressão na entrada do vaso Flash, que controla a vazão no biodiesel caso haja algum problema de pressão não especificada.	a. Parada do processo para manutenção; b. Menor produção, pois o controle de pressão do vaso V-102 fará com que a vazão do óleo seja muito menor do que o set point da planta; c. Perda financeira.	Improvável	Moderado	Não aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Continuação)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Temperatura	Mais	A variação na temperatura da corrente de entrada do V-102 só pode ser influenciada pela vazão ou temperatura de água de utilidade. Entretanto, as pequenas variações possivelmente causadas durante o processo não são suficientes para que haja problemas na produção.	Malha de controle de temperatura na saída do trocador de calor.	Não aplicável.	Improvável	Insignificante	Aceitável / Transferível	Não aplicável.
8	Temperatura	Mais	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-108 causado por incrustação na linha.	Não aplicável.	a. Saída do biodiesel em alta temperatura para o tanque de armazenamento, possivelmente causando danos ao equipamento e perda de produto; b. Possível perda financeira; c. Possível perda de produto.	Raro	Grande	Não aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Malha de controle periódico da qualidade da água de utilidade. c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

Tabela 10: Análise HAZOP para o processo 1.

(Conclusão)

Nó	Parâmetro	Palavra-chave	Causa	Salvaguarda	Consequência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendação
8	Temperatura	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-107 causado por desregulagens do controle	Existência de um by-pass.	a. O biodiesel não entra no equipamento V-102 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Possível	Grande	Não aceitável (Crítico)	a. Malha de controle de concentração na saída do equipamento V-102, que acarreta no reciclo imediato do produto do tanque de separação V-102 caso este esteja fora da especificação; b. Manutenção periódica no controle.
8	Temperatura	Menos	Menor fluxo de alimentação da água de utilidade causado por incrustação na linha.	Existência de um by-pass.	a. O biodiesel não entra no equipamento V-102 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	Improvável	Grande	Não aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Revisão periódica dos parâmetros de tratamento químico da água de utilidade para prevenção de depósitos.

5.7.1. Discussão da análise HAZOP

Com base na Tabela 10 acima, nota-se que aproximadamente 94% das recomendações realizadas incluem manutenções preventivas no processo e em seus equipamentos, a outra recomendação de destaque durante a análise é o fomento aos treinamentos para evitar falhas operacionais. Em comparação com os dados disponíveis na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (tabela 11 abaixo) os principais acidentes com causas identificadas no estado, com base nos dados desde 1978 foram causados por incêndios, falhas operacionais e falhas mecânicas, os demais itens foram identificados como falhas em equipamentos específicos causas, estas, identificadas por nossas análises e com inúmeras recomendações a respeito. Com base nos dados apresentados pela mesma companhia, entende-se que os incêndios são consequências de outras das falhas também mencionadas, e que em sua grande maioria, poderiam ser evitados com ações simples de controle de riscos de processo, manutenções e treinamentos específicos.

Tabela 11: Principais causas de Acidentes no estado de São Paulo desde 1978

Motivos dos acidentes	Porcentagem das ocorrências
Incêndio	44,2%
Falha Operacional	19,0%
Falha Mecânica	9,9%
Tubulação	5,8%
Tanque	4,8%
Descarte	4,2%
Extravasamento	4,0%
Explosão	1,4%
Tubulação e Tanque	1,4%
Desativado	1,2%
Passivo Ambiental	1,0%
Colisão/Choque	0,6%
Ação de terceiros voluntária	0,4%
Bomba	0,4%
Natural	0,4%
Transbordo	0,6%
Queda de embalagens	0,4%
Encalhe	0,2%
Tombamento	0,2%
Total Geral	100,0%

Fonte: Adaptado de CETESB, 2021

Com base nestes resultados apresentados, nota-se que, não apenas no processo analisado, mas sim para a indústria química como um todo, é imprescindível a criação de análises constantes dos riscos presentes nas instalações, além da contratação de profissionais experientes e qualificados para a criação de um setor de manutenções extremamente eficiente, evitando assim a maior parte dos problemas. Também é de suma importância o treinamento de todo o corpo de colaboradores, para que entendam o ambiente e como melhor operar os equipamentos, assim como agir caso algum acidente esteja na iminência de acontecer.

Por fim, existem os perigos que podem ser evitados por meio de ajustes nos processos, tais como implementações de controles, troca e/ou adição de equipamentos, este tipo de risco deve ser bem avaliado junto da Cia. para que seja feita a realização das cotações e obtida a aprovação para as implementações necessárias, sempre visando a redução da consequência e da probabilidade de um risco ocorrer.

O último método de garantia quanto a proteção das instalações é a procura por um seguro patrimonial, esta ação deve ser feita após a implementação das demais e tem como objetivo apenas servir como última salvaguarda para a empresa, isso se comprova pelo fato da maior procura de coberturas deste ramo ser a cobertura de incêndios (maior causa de acidentes no estado) (MINUTO SEGUROS, 2020; SWISS RE CORPORATE SOLUTIONS BRASIL SEGUROS S. A., 2021).

5.7.2. Implementação das melhorias propostas para o processo 1.

A partir da análise elaborada, fez-se possível a implementação de recomendações no fluxograma de processo, indicadas na figura 50 por meio dos instrumentos e linhas em azul.

Os primeiros instrumentos adicionados são: transmissor, controlador e elemento final de controle de concentração, que estão localizados na saída do vaso V-100, tem o objetivo controlar a concentração de saída do reagente especificado. Conforme a análise de risco aplicada, no qual tem-se um risco não aceitável, foi realizado essas alterações na malha de controle de concentração. Caso não esteja de acordo com as condições do processo, o produto é retornado para a entrada do trocador de calor E-100. Caso o produto esteja dentro do especificado, é continuado o processo. Para facilitar a manutenção das válvulas, foi adicionado uma válvula de desvio e com a finalidade de impedir o manuseio de algum operador na mesma, foi inserido a trava de válvula.

Foi introduzido na corrente de metanol e ácido sulfúrico, uma malha de controle de concentração com atuação na vazão na corrente mencionada, com o objetivo de atender as recomendações estabelecidas na análise de risco. Com isso, foram inseridos o transmissor, controlador e o elemento final de controle, que visa nortear as concentrações dos reagentes para início da mistura. Foi adicionado uma válvula desvio e uma trava de válvula de forma análoga ao aplicado na corrente do V-100.

Devido à conclusão de risco não aceitável para problemas na válvula de alívio, vazamentos na tubulação e perda de controle da água de utilidade, que são causas que afetam a pressão na entrada da torre de destilação T-100, foi implementado um indicador de pressão e alarmes de pressão alta e baixa no prato de alimentação da coluna, indicando quando o reagente está fora de especificações desejadas.

Durante a passagem na coluna de separação líquido-líquido, foi verificado a possibilidade de entupimento na linha ou desconfiguração da bomba, podendo ocorrer fluxo zero ou fluxo alto. Com isso, houve a necessidade da instalação de uma malha de controle de nível na entrada do equipamento de lavagem, constituído por transmissor, controlador e elemento final de controle de nível. Foi introduzido um transmissor de análise junto a malha de nível, devido a possibilidade de lavagem ineficiente. Adicionou-se uma válvula desvio e uma trava de válvula de forma análoga ao aplicado na corrente do V-100.

A inserção do tanque de armazenamento TQ-101 foi necessária devido a possibilidade de fluxo zero na corrente de entrada dos trocados de calor E-104, como consequência de um entupimento de linha. Desse modo, a corrente que passou pela coluna de separação líquido-líquido fica armazenada e não ocorre parada nessa etapa do processo, além de manter a integridade dos equipamentos.

Devido a possibilidade de aumento de pressão na camisa do reator, derivado da incrustação e de problemas de controle, foi introduzido ao reator CRV-101 uma malha de controle de pressão, sendo composta por transmissor, controlador e alarme de pressão alta. Ressalta-se a possibilidade da contaminação da matéria prima, proveniente do misturados MIX-105, podendo acarretar reações indevidas no reator CRV-101, para isso, foi recomendado como indicado no HAZOP, a avaliação prévia por amostragem e a solicitação de laudos. Caso ocorra a contaminação no reator, foi criada uma tubulação que permite o reciclo do produto fora da especificação, no qual há uma válvula desvio na entrada das bombas P-103A/B.

Para atender as condições de reação, foi necessário adicionar uma malha de controle de vazão, constituída por transmissor e controlador de vazão na entrada do misturador MIX-105,

para controlar a vazão de metanol conforme a entrada de soda, para assegurar o controle de qualidade do processo e evitar danos aos equipamentos. Com a finalidade de facilitar a manutenção das válvulas, foi incluído uma válvula de desvio na alimentação de soda no misturador MIX-105.

Com a possibilidade de defeito na válvula de alívio de pressão do vaso flash V-103 ou ineficiência no controle de pressão do mesmo, vazamentos nas tubulações e fluxo baixo de alimentação da água de utilidade do trocador de calor E-105, foi implementado o controle de concentração no equipamento, constituído por transmissor, conversor de sinal e controlador de concentração, que tem a função de reciclar toda carga fora de especificação.

Durante a etapa de lavagem na coluna de extração líquido-líquido T-103, podem ocorrer os seguintes interferentes no processo: falta de fluxo causado por problemas na bomba P 103A/B, por entupimento no equipamento ou na linha, além de possível queda de energia, ou fluxo elevado por desconfiguração do controle da bomba, tornando a operação ineficiente. Com isso, foi realizado controle cascata, associando a malha de nível e a de concentração. Dessa forma é possível mitigar as consequências das interferências citadas. Para produtos fora das especificações desejadas, foi associado às malhas o reciclo da carga para entrada do trocador de calor E-106.

Ao analisar o vaso flash V-102, foi observado a possibilidade das condições operacionais incorretas, como temperatura do biodiesel, prejudicando a separação e pureza do produto. Isso ocorre ao baixo fluxo de água de utilidade proveniente do trocador de calor E-107, por desregulagens no controle. Outra possibilidade é o mau funcionamento na válvula de alívio ou controle de pressão, resultando também no biodiesel fora dos requisitos esperados. Como recomendação, inseriu-se a malha de controle de concentração no equipamento V-102, com a intenção de detectar alterações nas especificações do produto, sendo redirecionado a carga defeituosa ao reciclo proposto para entrada do trocador de calor E-107. Foi adicionado na corrente T-13 uma válvula desvio e uma trava de válvula de forma análoga ao aplicado nas correntes anteriores.

Nota-se que a utilização de bons protocolos de segurança unidos a equipes de manutenção e controle de grande expertise é suficiente para garantir um nível de seguridade satisfatório na maioria dos processos. Entretanto, alguns processos são beneficiados em larga escala por adições de equipamentos diretamente na planta, sendo a maior parte destes equipamentos as malhas de controle. A implantação destes equipamentos infelizmente não é realizada exclusivamente com base na análise de risco, devem-se unir junto a esta: aprovações internas

de orçamento, uma pesquisa de custo versus prejuízo das consequências e até a dificuldade de alocação de novos equipamentos no espaço da planta. Por conta disso, muitas vezes tais sugestões não seriam implementadas em sua totalidade. Cabe, assim, estudar a instalação daquelas que são críticas para um funcionamento seguro do processo, e as demais podem ter uma substituição analisada, trocando controles complexos por análises feitas periodicamente por colaboradores.

5.8. ELABORAÇÃO DA ANÁLISE FMEA

De forma análoga ao processo utilizado para a metodologia HAZOP, foram captados os recursos desenvolvidos no presente trabalho para a elaboração de um estudo FMEA para o processo 2, seguindo a metodologia de Fernandes (2021). O resultado de tal estudo se encontra na tabela 12 abaixo:

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2

(continua)

FMEA para o estudo das rotas de produção do biodiesel									
nº FMEA	1	Responsável:	Autor		Data:	25/07/2021			
Revisão	1								
Rota de Produção	Processo 2	Revisado por:	N/A						
Ponto de Falha		Análise de Falha						Avaliação do Risco	Ações Recomendadas
Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/ Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-100	Aquecimento do óleo de microalga	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle da vazão de óleo de microalga. Existência de by-pass.	6	a. O óleo de microalga não entraria no equipamento V-100 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	7	84 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-100	Aquecimento do óleo de microalga	Falha no controle de temperatura	5	Malha de controle de pressão do separador V-100.	6	<ul style="list-style-type: none"> a. O óleo de microalga não entraria no equipamento V-100 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos. 	6	180 Não Aceitável	<ul style="list-style-type: none"> a. Manutenção periódica na instrumentação e controle;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-100	Aquecimento do óleo de microalga	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão do separador V-100. Malha de controle de temperatura da corrente D1.	6	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes corrosivos para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; e. Implementação de controle de concentração na saída do vaso V-100, com refluxo automático caso necessário.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Válvulas de alívio de pressão VLV-100 VLV-101 VLV-102 VLV-103	Redução da pressão da corrente	Desregulagem nos mecanismos internos da válvula	2	Malha de controles de pressão nos equipamentos subsequentes.	5	a. Parada do processo para manutenção; b. Menor produção, pois o controle de pressão fará com que a vazão referente seja muito menor do que o set point da planta; c. Perda financeira.	8	80 Aceitável	a. Manutenção periódica das válvulas e equipamentos; b. Implantação de alarmes de pressão baixa e/ou alarmes de pressão alta nos equipamentos subsequentes.
Válvulas de controle	Regulagem de condições de processo por meio do controle da vazão de um fluido.	Falha na válvula de controle na posição totalmente fechada	5	Existência de by-pass.	3	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de reagentes; e. Possível geração de produto fora de especificação.	8	120 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de válvula de trava totalmente aberta.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Válvulas de controle	Regulagem de condições de processo por meio do controle da vazão de um fluido.	Desregulagem do sistema de controle da válvula	5	Não existente.	3	a. Alterações descontroladas da vazão de reagentes. b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de reagentes; e. Possível geração de produto fora de especificação.	8	120 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;
Separador Flash V-100	Remoção de água da corrente de óleo de microalga	Entupimento das linhas auxiliares de retirada de produto	2	Não existente.	5	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de reagentes;	8	80 Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Separador Flash V-100	Remoção de água da corrente de óleo de microalga	Corrosão no equipamento	3	Não existente.	5	a. Vazamento de óleo de microalga e diminuição da corrente; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de reagentes; e. Contaminação do ambiente.	7	105 Não Aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.
Bombas P-100 P-101 P-102 P-103 P-104	Transporte de fluidos	Corrosão dos mecanismos internos da bomba	3	Equipamento em redundância.	5	a. Necessidade de alteração manual da corrente para a bomba reserva. b. Possível perda de reagentes; c. Necessidade de manutenção de emergência.	2	30 Aceitável	a. Manutenções periódicas nas bombas; b. Instalação de proteções contra corrosão.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Bombas P-100 P-101 P-102 P-103 P-104	Transporte de fluidos	Cavitação	3	Equipamento em redundância.	5	a. Necessidade de alteração manual da corrente para a bomba reserva. b. Possível perda de reagentes; c. Necessidade de manutenção de emergência; d. Possível perda do equipamento.	2	30 Aceitável	a. Manutenções periódicas nas bombas;
Bombas P-100 P-101 P-102 P-103 P-104	Transporte de fluidos	Queda de energia	4	É usual a utilização de geradores.	2	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Possível perda de reagentes	8	64 Aceitável	a. Possuir geradores de prontidão para ambas as bombas; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Instalação de "Nobreak" para que a bomba continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Bombas P-100 P-101 P-102 P-103 P-104	Transporte de fluidos	Entupimento na linha	2	Equipamento em redundância.	5	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Possível perda de reagentes d. Sobrenível de equipamentos anteriores;	8	80 Aceitável	a. Manutenções periódicas nas bombas. b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
Bombas P-100 P-101 P-102 P-103 P-104	Transporte de fluidos	Má configuração de potência	2	Malha de controles de vazão/nível em equipamentos subsequentes	5	a. Vazão real será diferente da definida como set-point, alterando a produção; b. Possível diminuição de vazões; c. Possível sobrenível de equipamentos em caso de alta vazão; d. Produto final fora de especificação; e. Perdas financeiras.	8	80 Aceitável	a. Manutenções periódicas e preventivas nas bombas.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-101	Resfriamento da corrente de óleo de microalga	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle da vazão de óleo de microalga. Existência de by-pass.	6	a. O óleo de microalga não entraria no equipamento T-100 na temperatura correta, desequilibrando os pratos da coluna e fazendo com que a separação não ocorra como o esperado; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	7	84 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-101	Resfriamento da corrente de óleo de microalga	Falha no controle de temperatura	5	Não existente.	6	a. O óleo de microalga não entraria no equipamento T-100 na temperatura correta, desequilibrando os pratos da coluna e fazendo com que a separação não ocorra como o esperado; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	7	210 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-101	Resfriamento da corrente de óleo de microalga	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de temperatura da corrente D6.	6	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; e. Implementação de controle de concentração na saída de óleo desacidificado da torre T-100, com refluxo automático caso necessário.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Coluna de extração líquido-líquido T-100	Desacidificação física	Sobrenível da coluna por falha no controle de nível	5	Existência de duplo bloqueio.	5	a. A separação não ocorreria corretamente devido ao alto nível, gerando produto fora de especificação. b. Possível entrada de óleo na coluna de preparação de refluxo; c. Perdas financeiras; d. Perda de reagentes; e. Necessidade de interrupção do processo.	8	200 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de alarmes de nível alto na coluna T-100.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Coluna de extração líquido-líquido T-100	Desacidificação física	Vazamento por corrosão	2	Não existente.	5	<p>a. A corrosão no equipamento causaria parada da planta para manutenções protetivas.</p> <p>b. Danos ambientais</p> <p>c. Perdas financeiras.</p> <p>d. Perda de matéria-prima.</p> <p>e. Criação de atmosfera explosiva e inflamável devido ao etanol.</p>	10	100 Aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;</p> <p>e. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento;</p> <p>f. Implantação de protocolos e alarmes para contenção de incêndios;</p>

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvuarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Misturador MIX-100	Mistura de correntes de Make-up e refluxo de Etanol	Mal funcionamento do intertravamento, fazendo com que ele seja acionado sem necessidade	5	Malha de controle de pressão em equipamentos anteriores.	5	a. Interrupção da alimentação de retorno do etanol; b. Sobrenível dos equipamentos anteriores; c. Diminuição da produção;	7	175 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de alarmes de nível baixo no MIX-100
Misturador MIX-100	Mistura de correntes de Make-up e refluxo de Etanol	Mal funcionamento do misturador devido a defeito em seus componentes internos	4	Não existente.	9	a. Necessidade de manutenção do equipamento.	2	72 Aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Coluna de destilação T-101	Recuperação de álcool	Sobrenível da coluna por falha no controle da recuperação de etanol	5	Existência de duplo bloqueio.	5	a. A separação não ocorreria corretamente devido ao alto nível, gerando uma corrente de recuperação com resíduos. b. Perda de matéria-prima. c. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	2	50 Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo. c. Implementação de alarmes de nível alto na coluna T-101.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Coluna de destilação T-101	Recuperação de álcool	Vazamento por corrosão	2	Não existente.	5	<p>a. A corrosão no equipamento causaria parada da planta para manutenções protetivas.</p> <p>b. Danos ambientais</p> <p>c. Perdas financeiras.</p> <p>d. Perda de matéria-prima.</p> <p>e. Criação de atmosfera explosiva e inflamável devido ao etanol.</p>	10	100 Aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;</p> <p>e. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento;</p> <p>f. Implantação de protocolos e alarmes para contenção de incêndios;</p> <p>g. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.</p>

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Refervedor da coluna T-101	Refluxo de aquecimento da coluna	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle de temperatura da coluna.	5	a. Devido ao aquecimento insuficiente, os pratos da coluna seriam desequilibrados, fazendo com que a separação não ocorra como o desejado; b. Perda de matéria-prima. c. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	7	70 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
Refervedor da coluna T-101	Refluxo de aquecimento da coluna	Falha no controle de temperatura	5	Não existente.	5	a. Devido ao aquecimento insuficiente ou excessivo, os pratos da coluna seriam desequilibrados, fazendo com que a separação não ocorra como o desejado; b. Perda de matéria-prima. c. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	7	175 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Refervedor da coluna T-101	Refluxo de aquecimento da coluna	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão da coluna T-101	5	a. Contaminação da coluna com a água de aquecimento, causando maior necessidade de retirada da água no vaso de separação flash; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	8	120 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Condensador da coluna T-101	Refluxo de resfriamento da coluna e da corrente de recuperação de etanol	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle de temperatura da coluna.	5	<p>a. Devido ao resfriamento insuficiente, os pratos da coluna seriam desequilibrados fazendo com que a separação não ocorra como desejada;</p> <p>b. Devido ao não resfriamento suficiente da corrente de recuperação de etanol, vapor chegaria na bomba P-101, causando cavitação;</p> <p>c. Perda de matéria-prima.</p> <p>d. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.</p>	8	80 Aceitável	<p>a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos;</p> <p>b. Limpeza periódica de trocadores de calor;</p> <p>c. Execução de prévio tratamento de água;</p> <p>d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio.</p> <p>f. Implantação de filtros de linha com DP.</p>

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Condensador da coluna T-101	Refluxo de resfriamento da coluna e da corrente de recuperação de etanol	Falha no controle de temperatura	5	Malha de controle de pressão da coluna de destilação T-101.	5	a. Devido ao resfriamento insuficiente ou excessivo, os pratos da coluna seriam desequilibrados, fazendo com que a separação não ocorra como o desejado; b. Em caso de resfriamento insuficiente da corrente de recuperação de etanol, vapor chegaria na bomba P-101, causando cavitação; d. Perda de matéria-prima. e. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	8	200 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Condensador da coluna T-101	Refluxo de resfriamento da coluna e da corrente de recuperação de etanol	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão da coluna T-101. Malha de controle de concentração na saída de etanol.	5	a. Contaminação da coluna com a água de resfriamento, causando maior necessidade de retirada da água no vaso de separação flash; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	8	120 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Tubulações de transporte de EtOH	Transporte de etanol	Corrosão facilitada pela alta temperatura	4	Não existente.	5	a. Vazamento de etanol e criação de atmosfera explosiva e inflamável; b. Risco a saúde dos colaboradores; c. Perda de matéria-prima; d. Riscos a integridade da planta; e. Perdas financeiras.	10	200 Não Aceitável	a. Manutenção periódica e preventiva de tubulações e equipamentos. b. Criação de rotina de inspeção para verificar a integridade de todos os pontos da linha; c. Implantação de protocolos e alarmes para contenção de incêndios; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. e. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; f. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Tubulações de transporte de óleo de microalga	Transporte de óleo de microalga	Entupimento	4	Malha de controles de fluxo e temperatura.	5	a. Parada do processo contínuo devido ao não fornecimento da matéria prima; b. Sobrenível de equipamentos anteriores; c. Possível perda de reagentes; d. Necessidade de parada para manutenção de emergência; e. Perdas financeiras.	8	160 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas e preventivas nas tubulações. b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
Trocador de calor E-102	Resfriamento da corrente de etanol recuperado	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Não existente.	6	a. O etanol adentra a torre T-100 em maior temperatura do que a determinada, desequilibrando os pratos e fazendo com que a separação não ocorra como o esperado. b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	6	72 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-102	Resfriamento da corrente de etanol recuperado	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de temperatura da coluna T-101.	6	a. Contaminação da corrente de etanol, causando uma maior entrada de água na torre T-100 do que para qual esta foi projetada, o que acarretaria em maior quantidade de água no óleo desacidificado, gerando produto fora de especificação; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo para manutenção de emergência; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-103	Pré-aquecimento da corrente de óleo desacidificado	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle de temperatura da camisa do reator CRV-100.	6	a. O etanol adentra o reator CRV-100 em menor temperatura do que a determinada, exigindo maior trabalho de aquecimento da camisa do reator; b. Desperdício de energia; c. Perdas financeiras.	2	24 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
Trocador de calor E-103	Pré-aquecimento da corrente de óleo desacidificado	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Não existente.	6	a. Contaminação da corrente de óleo desacidificado com água, gerando produto fora de especificação; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo para manutenção de emergência; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Misturador MIX-101	Mistura de correntes de NaOH e refluxo de Etanol	Mal funcionamento do misturador devido a defeito em seus componentes internos	4	Não existente.	9	a. Necessidade de manutenção do equipamento. b. A mistura insuficiente da corrente pode acarretar o envio de maior quantidade de um ou outro reagente, podendo ocasionar desequilíbrio na estequiometria estabelecida; c. Possível geração de produto fora de especificação;	4	144 Não Aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos.
Misturador MIX-102	Mistura de correntes de óleo desacidificado com corrente de NaOH + refluxo de Etanol	Mal funcionamento do misturador devido a defeito em seus componentes internos	4	Não existente.	9	a. Necessidade de manutenção do equipamento. b. A mistura insuficiente da corrente pode acarretar o envio de maior quantidade de um ou outro reagente, podendo ocasionar desequilíbrio na estequiometria estabelecida; c. Possível geração de produto fora de especificação;	4	144 Não Aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos. b. Implantação de controle de concentração na saída do MIX-102, que causaria refluxo em caso de necessidade.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Reator CRV-100	Reação de transesterificação	Incrustação na camisa	2	Não existente.	5	a. Devido a baixa vazão de água de aquecimento, a reação não ocorreria corretamente, gerando produto fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes;	8	80 Aceitável	a. Manutenção periódica do reator;
Reator CRV-100	Reação de transesterificação	Falha no controle de temperatura do reator	5	Não existente.	6	a. Com a alteração da temperatura do reator para uma diferente do set-point da planta, a reação não ocorreria como o esperado, podendo gerar produto fora de especificação; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes;	8	240 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Reator CRV-100	Reação de transesterificação	Falha no controle de nível do reator	5	Duplo bloqueio.	6	a. Devido ao alto ou baixo nível, a agitação determinada em projeto se encontraria não adequada a quantidade de reagentes, fazendo com que a reação não ocorra de forma adequada, gerando produto fora de especificação ou em baixa vazão; b. Perdas financeiras; c. Possível perda de reagentes.	6	180 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implantação de alarmes de nível alto e baixo no reator CRV-100.
Reator CRV-100	Reação de transesterificação	Defeito nas pás de agitação do reator	4	Não existente.	6	a. A agitação insuficiente da mistura reacional causaria a reação não uniforme ao longo do reator, o que geraria menor rendimento; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	7	168 Não Aceitável	a. Manutenção periódica do reator e seus componentes.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Reator CRV-100	Reação de transesterificação	Queda de energia	4	É usual a utilização de geradores.	2	a. A não agitação da mistura reacional causaria a reação não uniforme ao longo do reator, o que geraria menor rendimento; b. Perdas financeiras; c. Perda de reagentes.	7	56 Aceitável	a. Manutenção periódica do reator e seus componentes. b. Possuir geradores de prontidão para o reator; c. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; d. Instalação de "Nobreak" para que o reator continue em funcionamento até a ativação do gerador; d. Manutenção periódica nos geradores.
Reator CRV-100	Reação de transesterificação	Corrosão da tubulação interna da camisa facilitada pela alta temperatura	4	Malha de controle de nível do reator.	5	a. Contaminação do reator com a água de aquecimento, desequilibrando a estequiometria da reação e causando reações paralelas; b. geração de produto fora de especificação; c. Perda de reagentes; d. Perdas financeiras.	8	160 Não Aceitável	a. Manutenção periódica do reator e seus componentes. b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-104	Aquecimento da corrente de óleo transesterificado	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle da vazão de óleo de microalga. Existência de by-pass.	6	a. O óleo transesterificado não entraria no equipamento V-101 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	7	84 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
Trocador de calor E-104	Aquecimento da corrente de óleo transesterificado	Falha no controle de temperatura	5	Malha de controle de pressão do separador V-101.	6	a. O óleo transesterificado não entraria no equipamento V-101 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de resíduos.	6	180 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-104	Aquecimento da corrente de óleo transesterificado	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão do separador V-101. Malha de controle de temperatura da corrente T3.	6	a. Contaminação da corrente de óleo, causando a necessidade de novo processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes corrosivos para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
Separador Flash V-101	Remoção de álcool da corrente de óleo transesterificado	Entupimento das linhas auxiliares de retirada de produto	2	Não existente.	5	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de reagentes;	8	80 Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Separador Flash V-101	Remoção de álcool da corrente de óleo transesterificado	Corrosão no equipamento	3	Não existente.	5	a. Vazamento de óleo transesterificado e diminuição da corrente; b. Vazamento de etanol e criação de atmosfera explosiva e inflamável; c. Perdas financeiras; d. Mal funcionamento dos equipamentos; e. Perda de reagentes; f. Contaminação do ambiente.	10	150 Não Aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento. d. Implantação de protocolos e alarmes para contenção de incêndios; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.
Coluna de destilação T-102	Recuperação de álcool	Sobrenível da coluna por falha no controle da recuperação de etanol	5	Existência de duplo bloqueio.	5	a. A separação não ocorreria corretamente devido ao alto nível, gerando uma corrente de recuperação com resíduos. b. Perda de matéria-prima. c. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	2	50 Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.; c. Implementação de alarmes de nível alto na coluna T-102.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Coluna de destilação T-102	Recuperação de álcool	Vazamento por corrosão	2	Não existente.	5	<p>a. A corrosão no equipamento causaria parada da planta para manutenções protetivas.</p> <p>b. Danos ambientais</p> <p>c. Perdas financeiras.</p> <p>d. Perda de matéria-prima.</p> <p>e. Criação de atmosfera explosiva e inflamável devido ao etanol.</p>	10	100 Aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;</p> <p>e. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento;</p> <p>f. Implantação de protocolos e alarmes para contenção de incêndios;</p> <p>g. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.</p>

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Refervedor da coluna T-102	Refluxo de aquecimento da coluna	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle de temperatura da coluna.	5	a. Devido ao aquecimento insuficiente, os pratos da coluna seriam desequilibrados, fazendo com que a separação não ocorra como o desejado; b. Perda de matéria-prima. c. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	7	70 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. f. Implantação de filtros de linha com DP.
Refervedor da coluna T-102	Refluxo de aquecimento da coluna	Falha no controle de temperatura	5	Não existente.	5	a. Devido ao aquecimento insuficiente ou excessivo, os pratos da coluna seriam desequilibrados, fazendo com que a separação não ocorra como o desejado; b. Perda de matéria-prima. c. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	7	175 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Refervedor da coluna T-102	Refluxo de aquecimento da coluna	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão da coluna T-102.	5	<p>a. Contaminação da coluna com a água de aquecimento, causando maior necessidade de refluxo da corrente, o que não causaria impactos na reação do CRV-100 devido ao controle de concentração existente na corrente de saída para a recuperação;</p> <p>b. Desperdício de reagentes;</p> <p>c. Parada no processo contínuo;</p> <p>d. Perdas financeiras.</p>	8	120 Não Aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;</p>

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/ Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Condensador da coluna T-102	Refluxo de resfriamento da coluna e da corrente de recuperação de etanol	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle de temperatura da coluna.	5	a. Devido ao resfriamento insuficiente, os pratos da coluna seriam desequilibrados fazendo com que a separação não ocorra como desejada; b. Devido ao não resfriamento suficiente da corrente de recuperação de etanol, vapor chegaria na bomba P-104, causando cavitação; c. Perda de matéria-prima. d. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	8	80 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Execução de prévio tratamento de água; d. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; e. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
Condensador da coluna T-102	Refluxo de resfriamento da coluna e da corrente de recuperação de etanol	Falha no controle de temperatura	5	Malha de controle de pressão da coluna de destilação T-102.	5	a. Devido ao resfriamento insuficiente ou excessivo, os pratos da coluna seriam desequilibrados, fazendo com que a separação não ocorra como o desejado; b. Em caso de resfriamento insuficiente da corrente de recuperação de etanol, vapor chegaria na bomba P-104, causando cavitação; d. Perda de matéria-prima. e. Alteração da estequiometria de reação estabelecida.	8	200 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Implementação de protocolos de análise manual e periódica das concentrações de topo e fundo da coluna, para garantir a qualidade do controle e do processo.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Condensador da coluna T-102	Refluxo de resfriamento da coluna e da corrente de recuperação de etanol	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão da coluna T-102. Malha de controle de concentração na saída de etanol.	5	a. Contaminação da coluna com a água de resfriamento, causando maior necessidade de refluxo das correntes na torre; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo para manutenção de emergência; d. Perdas financeiras.	8	120 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
Trocador de calor E-105	Resfriamento da corrente de Biodiesel + Impurezas	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Não existente.	6	a. A corrente adentraria a coluna T 103 em maior temperatura do que a esperada, desequilibrando os pratos e causando com que a separação não ocorra como o esperado. b. Desperdício de energia; c. Perdas financeiras.	2	24 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-105	Resfriamento da corrente de Biodiesel + Impurezas	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Não existente.	6	a. Contaminação da corrente de biodiesel + impurezas com água, gerando produto fora de especificação; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo para manutenção de emergência; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;
Coluna de extração líquido-líquido T-103	Lavagem com água	Sobrenível da coluna por falha no controle de vazão	5	Existência de duplo bloqueio.	5	a. A separação não ocorreria corretamente devido ao alto nível, gerando produto fora de especificação. b. Possível entrada de impurezas no vaso flash; c. Perdas financeiras; d. Perda de reagentes; e. Necessidade de interrupção do processo.	8	200 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de alarmes de nível alto na coluna T-103.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Coluna de extração líquido-líquido T-103	Lavagem com água	Vazamento por corrosão	2	Não existente.	5	<p>a. A corrosão no equipamento causaria parada da planta para manutenções protetivas.</p> <p>b. Danos ambientais</p> <p>c. Perdas financeiras.</p> <p>d. Perda de matéria-prima.</p> <p>e. Criação de atmosfera explosiva e inflamável devido ao etanol restante como impureza.</p> <p>f. Perda de produto.</p>	10	100 Aceitável	<p>a. Manutenções periódicas nas tubulações;</p> <p>b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha;</p> <p>c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.</p> <p>d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;</p> <p>e. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento;</p> <p>f. Implantação de protocolos e alarmes para contenção de incêndios;</p>

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-106	Aquecimento da corrente de biodiesel hidratado	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Malha de controle da vazão de biodiesel. Existência de by-pass.	6	a. O biodiesel não entraria no equipamento V-102 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de água.	7	84 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
Trocador de calor E-106	Aquecimento da corrente de biodiesel hidratado	Falha no controle de temperatura	5	Malha de controle de pressão do separador V-102.	6	a. O biodiesel não entraria no equipamento V-102 na temperatura correta, fazendo com não haja a separação adequada da corrente; b. Produto final fora de especificação; c. Perda financeira; d. Perda de reagentes. e. Maior quantidade de água.	6	180 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-106	Aquecimento da corrente de biodiesel hidratado	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Malha de controle de pressão do separador V-102. Malha de controle de temperatura da corrente de saída do trocador.	6	a. Contaminação da corrente de biodiesel, causando a necessidade de novo processo de separação de água e interrupção do processo; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes corrosivos para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; e. Implementação de controle de concentração na saída do vaso V-102, com refluxo automático caso necessário.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Separador Flash V-102	Remoção de impurezas do biodiesel	Entupimento das linhas auxiliares de retirada de produto	2	Não existente.	5	a. Parada da produção; interrupção do processo contínuo; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de produto;	8	80 Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. d. Implantação de filtros de linha com DP.
Separador Flash V-102	Remoção de impurezas do biodiesel	Corrosão no equipamento	3	Malha de controle de pressão do separador.	5	a. Vazamento do biodiesel e diminuição da corrente; b. Perdas financeiras; c. Mal funcionamento dos equipamentos; d. Perda de produto; e. Contaminação do ambiente.	10	150 Não Aceitável	a. Manutenção periódica das tubulações e equipamentos; b. Instalação de proteções contra corrosão. c. Criação de procedimentos de segurança para mitigação da severidade ambiental do vazamento. d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-107	Resfriamento da corrente de Biodiesel para armazenamento	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Não existente.	6	a. A corrente adentraria o tanque de armazenamento em maior temperatura do que o determinado, podendo causar degradação do produto. b. Desperdício de energia; c. Possíveis perdas financeiras.	7	84 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
Trocador de calor E-107	Resfriamento da corrente de Biodiesel para armazenamento	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Não existente.	6	a. Contaminação da corrente de biodiesel com água, gerando produto fora de especificação e necessidade de retrabalho; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo para manutenção de emergência; d. Perdas financeiras.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão; e. Implantação de controle de concentração a saída do evaporador, causando refluxo caso necessário.

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Continuação)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Trocador de calor E-108	Resfriamento da corrente de recuperação de etanol	Incrustação nas tubulações do trocador	2	Não existente.	6	a. A corrente adentraria o MIX-103 em maior temperatura do que a esperada, mas que não acarretaria maiores danos; b. Desperdício de energia; c. Perdas financeiras.	2	24 Aceitável	a. Manutenção periódica de tubulações e equipamentos; b. Limpeza periódica de trocadores de calor; c. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; d. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de entupimento para tratamento prévio. e. Implantação de filtros de linha com DP.
Trocador de calor E-108	Resfriamento da corrente de recuperação de etanol	Corrosão nas tubulações internas do trocador	3	Não existente.	6	a. Contaminação da corrente de etanol com água, gerando produto fora de especificação; b. Desperdício de reagentes; c. Parada no processo contínuo para manutenção de emergência; d. Perdas financeiras. e. Desequilíbrio da estequiometria de reação e necessidade de retrabalho.	8	144 Não Aceitável	a. Manutenções periódicas nas tubulações; b. Estudo das vazões ao longo do tempo para verificar se há comprometimento da linha; c. Caracterização prévia da matéria prima, para identificação de agentes de corrosão para tratamento prévio. d. Implantação de equipamentos e componentes contra corrosão;

Tabela 12: Análise FMEA para o processo 2.

(Conclusão)

Equipamento	Função do equipamento	Modo de falha	Ocorrência	Malha de controle/Salvaguarda	Deteção	Consequência	Severidade	RPN	Recomendação
Misturador MIX-103	Mistura de correntes de Make-up e refluxo de Etanol (T)	Mal funcionamento do intertravamento, fazendo com que ele seja acionado sem necessidade	5	Malha de controle de pressão em equipamentos anteriores.	5	a. Interrupção da alimentação de retorno do etanol; b. Sobrenível dos equipamentos anteriores; c. Diminuição da produção;	7	175 Não Aceitável	a. Manutenção periódica na instrumentação e controle; b. Revisão periódica das fiações e sistemas elétricos; c. Implementação de alarmes de nível baixo no MIX-103
Misturador MIX-103	Mistura de correntes de Make-up e refluxo de Etanol (T)	Mal funcionamento do misturador devido a defeito em seus componentes internos	4	Não existente.	9	a. Necessidade de manutenção do equipamento.	2	72 Aceitável	a. Manutenção periódica de equipamentos.

Fonte: Autor

5.8.1. Discussões da análise FMEA

Nota-se que a análise FMEA é ótima para a determinação das principais falhas potenciais presente nos equipamentos que são utilizados durante o processo 2. Mesmo esta metodologia tendo sido inicialmente desenvolvida para empresas que atuam nos setores de serviços, ou até para produção de bens de consumo, tais como: carros, produtos de beleza e afins, é notória sua usabilidade para os processos químicos, uma vez que o estudo apresenta grande dinamismo e uma forma simples da determinação dos riscos.

Durante o estudo, é possível inferir que os tópicos mais relevantes a serem tratados como melhorias no processo 2 são a criação dos procedimentos internos de controle e manutenção e a boa estruturação dos setores responsáveis por estes procedimentos. Também se notam inúmeras possibilidades de falhas ocasionadas pelos equipamentos da planta. Com base na análise feita no tópico 5.7.1 pelos autores utilizando dos dados disponibilizados pela CETESB (2021) é possível identificar que a maior parte dos acidentes são ocasionados por estes equipamentos. Também se percebe que estes acidentes, em plantas que operam com fluidos inflamáveis e explosíveis, tais como os do processo estudado, podem acarretar incêndios - que são o maior fator causal para grandes acidentes, conforme o mesmo estudo.

5.8.2. Implementação das melhorias propostas para o processo 2.

A partir da análise elaborada, e de forma análoga ao identificado pelo processo 1, fez-se possível a implementação de recomendações no fluxograma de processo, indicadas na figura 51 por meio dos instrumentos e linhas em verde.

Foi inserido um primeiro controle de concentração na saída do vaso flash V-100, constituído por uma malha com controlador, conversor de sinais e transmissor de concentração, para o controle de possíveis corrosões nos equipamentos a montante. Caso os reagentes estejam fora de especificação exigida, a mesma é retornada como reciclo para entrada do trocador de calor E-100. Para facilitar a manutenção das válvulas, foi adicionado uma válvula de desvio e com a finalidade de impedir o manuseio de algum operador na mesma, foi inserido a trava de válvula. De forma análoga, o mesmo procedimento foi realizado para os trocadores de calor E-106 e E-107 e o vaso flash V-102, diante de uma análise do biodiesel.

Em um cenário de desregulagem nos mecanismos internos das válvulas de alívio de pressão VLV-100, VLV-101, VLV-102 e VLV-103, foi implementado alarmes de pressão alta

e baixa nos equipamentos a jusante. Tais equipamentos são fundamentais para indicação de desvios de pressão, com a intenção de garantir as especificações do processo, integridade dos equipamentos e a segurança dos operadores envolvidos.

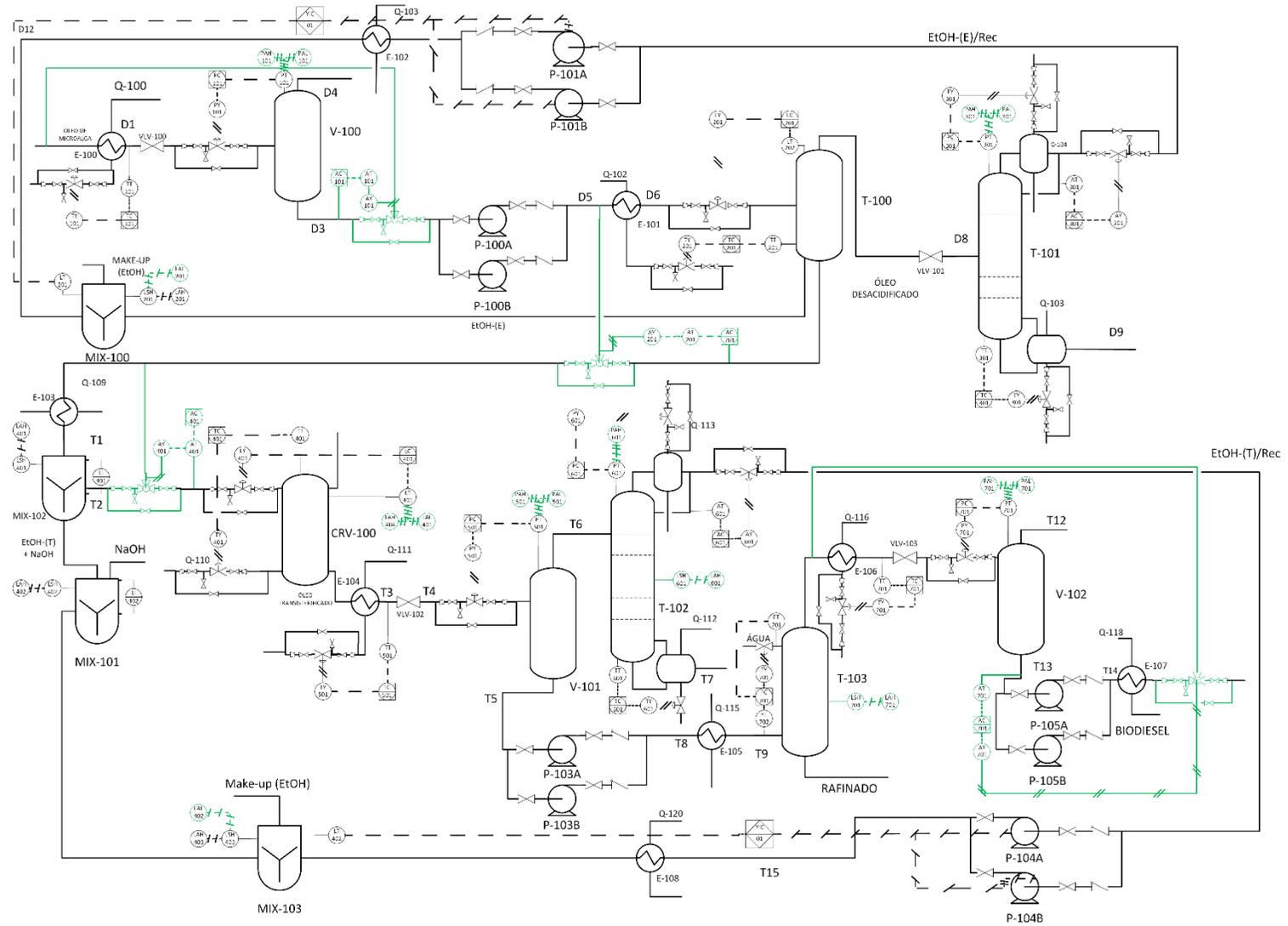
Diante de um mau funcionamento no intertravamento dos misturadores MIX-100 e MIX-103, fazendo com que eles sejam acionados sem necessidade, foram inseridos alarmes de nível baixo nas malhas de controles de nível dos equipamentos, para assim atender outras possibilidades de desvio, garantindo a integridade do processo.

No reator CRV-100, foi implantado alarmes de nível alto e baixo na malha de controle de nível do equipamento, indicando falhas no controle de nível do mesmo. O alarme indica de imediato as alterações fora do estabelecido.

Foi adicionado alarme e lâmpada de nível alto nas colunas de destilação T-102 e T-103, para indicar sobrenível da coluna por falha no controle da recuperação de etanol.

A união entre engenharia e QSSMA (Qualidade, Saúde, Segurança e Meio ambiente) de uma indústria química é fundamental para garantir o nível de segurança satisfatório no processo. A implantação dos equipamentos sugeridos está associada também as aprovações internas de orçamento, uma pesquisa de custo versus prejuízo das consequências e até a dificuldade de alocação de novos equipamentos no espaço da planta. Por conta disso, muitas vezes tais sugestões não seriam implementadas em sua totalidade. Cabe a cultura de cada empresa analisar e diante disso fazer as mudanças recomendadas, de forma a atender a legislação vigente.

Figura 51: Fluxograma do processo 2 com aplicação das recomendações



Fonte: Autor.

5.9. COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO.

É perceptível que os resultados obtidos pelos estudos de HAZOP e FMEA são, em sua essência, os mesmos, uma vez que ambos recomendam fortemente a instalação de malhas de controle muito similares, além de um grande reforço aos procedimentos de inspeção e manutenção de processos. Entretanto é notório que existem inúmeras diferenças de aplicação e detalhamento de resultados durante estas metodologias.

A análise FMEA se demonstrou muito satisfatória para a determinação dos modos de falhas intrínsecos aos equipamentos, uma vez que este é seu principal foco. Outro ponto positivo é o dinamismo da análise – que foi inteiramente feita em aproximadamente 12 horas – já que é possível enquadrar todos os equipamentos iguais que operam com mesmo intuito e que teriam os mesmos métodos de falha dentro de apenas uma análise (vide o estudo realizado para as bombas durante o FMEA). Por outro lado, a ferramenta HAZOP demonstrou muito mais completa e complexa. Isso ocorre devido a estrutura de separação proporcionada pela metodologia, unida a utilização das palavras-chave, que induzem o usuário a analisar inúmeros cenários não corriqueiros para critérios difíceis de serem alcançados. A separação por nós facilita muito a operação uma vez que as análises são focadas em menor escala e cada processo é tratado como único, e tem todos seus parâmetros (indicados pelas palavras-chave) vistos individualmente. Em contraponto a análise HAZOP é consideravelmente mais onerosa aos usuários – neste caso, foi necessária uma carga horária de aproximadamente 30 horas para completude das análises- e, também, faz com que pontos muito similares de análises sejam validados inúmeras vezes.

Portanto, a recomendação dos autores para as análises de risco em processos químicos é a seguinte: utilização da ferramenta FMEA para análise de equipamentos a serem instalados e/ou propostos ou também para casos de análises recorrentes em curto período de tempo (caso necessário). Já para o estudo do processo completo, recomenda-se a utilização da ferramenta HAZOP devido a sua maior abrangência e complexidade, obviamente esta análise deve ser reconduzida periodicamente para monitoramento dos riscos suprimidos e daqueles em que ainda se deve operar.

5.10. DETERMINAÇÃO DO PROCESSO MAIS SEGURO

Analisando exclusivamente os critérios de análise de risco é possível afirmar que o processo 2, de desacidificação física, é o mais seguro dentre os analisados. Isso ocorre porque neste processo existe uma menor quantidade de equipamentos operando e, conforme demonstrados pelos estudos, estes equipamentos, possuem riscos intrínsecos ao seu funcionamento. É possível constatar que alguns dos equipamentos que mais apresentam perigos dentro da indústria são os reatores químicos - principalmente devido a sua operação apresentar, além de reações químicas, a usual utilização de pressões e temperaturas elevadas - e as colunas de destilação – que operam normalmente a temperaturas e pressões elevadas. Outro fator determinante é a menor utilização de reagentes perigosos. Conforme disponível no tópico 5.6.2 os reagentes adicionais necessários para o bom funcionamento do processo 1, de reação de esterificação, como o ácido sulfúrico, são fortemente prejudiciais à saúde dos colaboradores e para o meio ambiente em caso de qualquer incidente. A manutenção de reservas e o transporte e armazenamento destes reagentes também apresentam perigos que não são discutidos durante as análises de risco do processo. Outro ponto positivo quanto aos reagentes é a utilização de etanol no processo 2 (substituindo o metanol utilizado no processo 1), sabe-se que o etanol possui menor risco aos colaboradores, principalmente quando em contato com os operadores e em acidentes que levam a incêndios, uma vez que o fogo gerado pelo metanol não é visível aos olhos humanos.

Por fim, vale acrescentar que, todos os fatores acima também podem fazer com que o processo 2 seja mais economicamente viável em sua instalação, manutenção e operação, fazendo com que seja ainda mais atrativo em detrimento ao processo 1.

6. CONCLUSÃO

Com base em todas as análises efetuadas durante o presente trabalho é possível afirmar que a análise de risco é um fator fundamental para o bom funcionamento de qualquer organização, pois é conhecendo o risco a qual se está exposto que é possível operacionalizar sua mitigação e/ou supressão.

A respeito das metodologias de análise de risco, foi possível concluir que o estudo pelo método HAZOP apresenta resultados mais detalhados (quantitativa e qualitativamente) ao preço de maior ônus aos integrantes da análise, enquanto o estudo FMEA apresenta ótimos resultados para o estudo de equipamentos, além de um tempo de execução inferior a metade do necessário para o outro estudo. Portanto, a recomendação dos autores é o aproveitamento dos pontos positivos de cada uma das metodologias, agregando maior eficiência e qualidade nos processos de análise, para isso, recomenda-se a utilização do FMEA para estudos corriqueiros e de equipamentos isolados, enquanto aconselha-se a utilização do HAZOP para o estudo do processo como um todo e para seu monitoramento periódico a fim de implementar uma gestão de melhoria contínua na empresa, além de mitigar novos riscos em potencial.

Quanto ao estudo de qual processo é mais seguro, foi indicado que a segunda rota proposta, que utiliza da desacidificação física, apresenta maior segurança de processos, principalmente devido a não utilização de um primeiro reator para a preparação da matéria prima, além da não utilização de ácido sulfúrico como catalisador e do metanol como álcool reagente, como foi necessário para a rota da reação de esterificação.

REFERÊNCIAS

- A. B. RANAZZI & CIA. LTDA.. **Reator vertical com camisa de aquecimento e misturador paleta**. [s. d.]. Disponível em:
<http://www.ranazzi.com.br/images/folder/reatores/reator03.jpg>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- AGOSTINI, M. S. **Análise de riscos em processos envolvendo reações exotérmicas**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo.
- AGUIAR, L. A. **Metodologias de análise de riscos APP e HAZOP**. Rio de Janeiro. Disponível em:
<http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/13179/material/APP_e_HAZOP.pdf>. Acesso em: Jan. 2014.
- ANP (Org.). **Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/simp-biodisel>>. Acesso em: 13 jan. 2020.
- BARBOSA, José Barbosa. Dimensionamento do eixo do impelidor em sistemas de agitação e mistura para processos industriais. Campinas – SP, 2004.
- BARROS, Sergio Silveira de. **Análise de Riscos**. Curitiba: Rede E-Tech Brasil, 2013. 159 p.
- BAYER S.A. (São Paulo). **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)**. Aureo. 2021. Disponível em:
<https://www.bayerfispq.com.br/Downloads/DownloadFile?idForm=2274>. Acesso em: 04 jul. 2021.
- BEYCHOK, Milton. 2007. Diagram of a typical vapor-liquid separator. Disponível em <<http://www.air-dispersion.com/>> Acesso em: 04 jul. 2021.
- BIODIESEL**. Disponível em: < <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel>>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- BORRAZ, Olivier. O surgimento das questões de risco. **Sociologias**, [S.L.], v. 16, n. 35, p. 106-137, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-45222014000100005>.
- BRISCO DO BRASIL INDÚSTRIA QUÍMICA E COMÉRCIO LTDA.. **FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**. ACETATO DE ETILA. 2018. Disponível em: <https://www.brisco.com.br/fispq/acetato-de-etila.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.
- CARDELLA, Benedito. **Segurança no Trabalho e Prevenção de Acidentes – Uma Abordagem Holística**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.
- CARL ROTH GMBH + CO KG. **Informações de segurança voluntárias em conformidade com o formato da ficha de dados de segurança segundo o regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)**. Ácido palmítico. 2019. Disponível em:
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-5907-PT->

PT.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMzk0NzJ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNGYvaGZiLzgz5NzEyMTA2MjA5NTgucGRmfDljZmU1MTQwZDMyZTg3OGZhZjg2NjBkOWQ1N2M1Yjg5YjMwMzNmMjhiMjRiZGE5M2E0NjYxODdiNjMyNGJjYjA. Acesso em: 04 jul. 2021.

CARL ROTH GMBH + CO KG. **Informações de segurança voluntárias em conformidade com o formato da ficha de dados de segurança segundo o regulamento (CE) n.º**

1907/2006 (REACH). Ácido mirístico. 2020. Disponível em:

<https://www.carlroth.de/medias/SDB-6469-PT->

PT.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMzk5MDF8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNjAvaDg3Lzgz5Nzc4Njk5NjMyOTQucGRmfDlkMjg1M2NkM2M5MTI3OWFkODAlY2ViMjNhNWFIY2E1MGQ1Nzg4M2UwYmM3YTJlZDhmMWNiYTEyYmRhZGRjNzc. Acesso em: 04 jul. 2021.

Castro, Rodrigo Souza; Eriksson, Karl Tomas. **APLICAÇÃO DE VÁLVULAS DE CONTROLE EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**. Dissertação de pós-graduação Osvaldo Cruz. 2012

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emergências químicas**. 2021.

Disponível em: <https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/emergencia/relatorio.php>. Acesso em: 18 jul. 2021.

CETESB. **Normas Regulamentadoras – Emergências Químicas**. Disponível em: <cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 03 de Abril de 2021.

CONCEIÇÃO, Rosana Coelho da. **ANÁLISE TÉCNICA E AMBIENTAL DE PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE MICROALGA**. 2014. 119 f.

Dissertação (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.h2cin.org.br/download/analise-tecnica-e-ambiental-de-processo-de-producao-de-biodiesel-de-microalga.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

COSMOQUIMICA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EIRELI. **FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**. ÁCIDO PALMÍTICO C16 98/100. 2015.

Disponível em: <http://cosmoquimica2.tempsite.ws/waUpload/fispq339-ghs00222072016142411.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

CROWL, Daniel A.; LOUVAR, Joseph F. (org.). **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**. 3. ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 710 p

DOMINGOS, A. K.; Vecchiatto, W.; Wilhelm, H. M.; Ramos, L. P. J. *Braz. Chem. Soc.* 2007, 18, 416

FAN, Yunchang et al. Lipase-catalyzed synthesis of biodiesel in ahydroxyl-functionalized ionic liquid. **Chemical Engineering Research And Design**. Jiaozuo, p. 199-207. jan. 2018.

FERNANDES, Fernando Ferrari (org.). **Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA)**.

Disponível em: <https://sites.google.com/site/qualidadeeprodutividade/six-sigma/measure/2-1-2-6-analise-dos-modos-de-falha-e-efeitos-fmea>. Acesso em: 1 jul. 2021.

Folha de verificação. **Portal Isso**, 2020. Disponível em: <https://ferramentas-da-qualidade.portaliso.com/folha-de-verificacao/>. Acesso em: 02 de Abril de 2021

FUP. Federação Única de Petroleiros. Tragédia P-36. Disponível em: <<https://fup.org.br/ultimas-noticias/item/26478-vinte-anos-apos-a-tragedia-da-p-36-o-que-mudou-participe-da-live-do-sindipetro-nf>>. Acesso em: 12 de Jun. de 2021.

GARCIA, Camila Martins. **Transesterificação de óleos vegetais**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Química Inorgânica, Unicamp, Campinas, 2006.

GONDIM, Grácia Maria de Miranda. **Do Conceito de Risco ao da Precaução: entre determinismos e incertezas**. EPSJV, 2007.

GOTAQUIMICA. **Ficha de informação de segurança de produto químico – FISPQ: ácido sulfúrico**. Ácido sulfúrico. 2015. Disponível em: <https://gotaquimica.com.br/wp-content/uploads/2021/05/ACIDO-SULFURICO-98.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

GRUHN, Paul; CHEDDIE, Harry L. **Safety Instrumented System: Design, Analysis, and Justification**. United States of America: ISA, 2006.

GUT, J. A. W. **Configurações ótimas para trocadores de calor a placas**. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – USP, São Paulo. 2003.

HIDROMAR INDÚSTRIA QUÍMICA LTDA. **Ficha de informação de segurança do produto químico**. Soda Cáustica Líquida (NaOH). 2018. Disponível em: <http://www.grupohidromar.com.br/wp-content/themes/hidromar/download/FISPQ-Soda-caustica-liquida.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

Incropera, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6° ed. GEN LTC, 2008.

KLETZ, Trevor. **What Went Wrong: Case Histories of Process Plant Disasters**. 4. ed. Gulf Professional Publishing, 1998. 1-48 p

L. M. F. LEITE¹, E. A. P. LIMA. **A Aplicação Da Ferramenta Hazop No Processo De Operação Da Fermentação Alcolica**. Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química, 2019.

LESER LTDA. **Válvulas de Segurança e Alívio**. 2019. Disponível em: <https://docplayer.com.br/139345621-Valvulas-de-seguranca-e-alivio-componente-de-grande-impacto.html>. Acesso em: 17 jul. 2021.

MANCIO, A. A.; **Simulação de Processo de Produção e Purificação de Biodiesel a partir de Óleo de Microalgas**. 2011. Trabalho de pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Pará.

Mathias, A. C. **Válvulas: Industriais, segurança, controle**. ART LIBER, 2014.

MINUTO SEGUROS. **Coberturas do seguro patrimonial: veja as principais proteções do produto**. 2020. Disponível em: <https://www.minutoseguros.com.br/blog/coberturas-do-seguro-patrimonial/>. Acesso em: 18 jul. 2021.

MULTICHEMIE. FISPQ 137 – Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico: glicerina. 2017.

N. Alex. **Máquinas Termohidráulicas de Fluxo - Bombas Centrífugas**. Fev. 2010
NAVARRO, Antonio. **Checklist para verificação de ferramentas portáteis**. Rio de Janeiro, 2012

OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, M. A.; ARRUDA, M. S. V. **ANÁLISE DA PREVENÇÃO DE RISCOS DE ACIDENTES UTILIZANDO CHECKLIST**. São Paulo, 2018.
OMDAHL, T P. **Reliability, availability, and maintainability dictionary**. Milwaukee, ASQC Quality Press, 1988

PALADY, P. **FMEA: análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. Outras palavras (trad.). São Paulo: IMAM, 1997.

PEREIRA, Anna Cristina B.. **Gestão de riscos NBR ISO 31000,2018 Modelos de Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho: aula 5**. São Bernardo do Campo: Centro Universitário Fei, 2021.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. (Rio de Janeiro). **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ**. ETANOL ANIDRO COMBUSTÍVEL EAC. 2019. Disponível em: <https://www.br.com.br/wcm/connect/0b7e2011-1025-4785-bfd9-d3b78f1e44cf/fispq-comb-etanol-etanol-anidro-combustivel-eac.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mbuZhJI&CVID=IZfF75>. Acesso em: 04 jul. 2021.

PETROBRÁS. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ: biodiesel (b-100)**. Rio de Janeiro: na, 2011. 12 p. Disponível em: <https://petrobras.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8B2D165378282D0153AA19F6696218>. Acesso em: 14 jun. 2021.

Potter, M. C., & Wiggert, D. C. 2010. **Mecânica dos Fluidos**. 1a ed. São Paulo: Cengage Learning.

PULIDO, Jeffrey León. **Estudo de um Novo Conceito de Coluna de Destilação: Coluna de Destilação com Integração Interna de Calor (CDIIC)**. 2011. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Desenvolvimento de Processos Químicos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266867/1/LeonPulido_Jeffrey_M.pdf. Acesso em: 04 jul. 2021.

QUIMIDROL COMÉRCIO INDØSTRIA IMPORTAÇÃO LTDA.. **FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**. Água Destilada. 2014. Disponível em: https://www.quimidrol.com.br/media/blfa_files/Agua_Destilada_5.pdf. Acesso em: 04 jul. 2021.

RABELO, Ana Paula Brescancini. **Estudo da eficiência de separação numa coluna de extração líquido-líquido mecanicamente agitada por palhetas rotativas**. 1995. 165f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266557>>. Acesso em: 07 jul. 2020.

RAMOS, L. P.;* Silva, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. **Tecnologias de Produção de Biodiesel**. Revista Virtual de Química, 2011

REBELATO, Marcelo Giroto; MADALENO, Leonardo Lucas; FERRARI, Gustavo Borba; RODRIGUES, Andréia Marize. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS FMEA E HAZOP APLICADOS À PRODUÇÃO DE BIOETANOL**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 1-24, 12 mar. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

SAITO, Guilherme Keiji. **Método para Análise de Riscos e Especificação de Requisitos de Segurança em Processos Industriais com Múltiplos Modos de Operação**. 2021. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

Santos, J. V. et al. **Falhas em válvulas de segurança: levantamento estatístico durante paradas de manutenção**. Salvador, BA. 2002.

SANTOS, Leandro Dorneles dos *et al.* **A UTILIZAÇÃO DO FMEA COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA DA QUALIDADE EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA DA REGIÃO DAS MISSÕES**. Curitiba, Pr, Brasil,: Xxxiv Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014. 16 p. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STO_195_107_25646.pdf> acesso em 01 de Abril de 2021

SAXER, P. (2015). **Aplicação da FMEA para Análise de Riscos na Qualidade do Processo de Embalagens em uma Multinacional de Agroquímicos**. Monografia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

SOUZA, Patricia Hezure de. **Aplicação do FMEA em uma empresa de derivados de milho de pequeno porte**. 2018. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Engenharia da Qualidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

STAMATIS, D H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. 2. ed. Milwaukee, Wi: Asqc Quality Press, 2003.

SWISS RE CORPORATE SOLUTIONS BRASIL SEGUROS S. A.. **Patrimonial**. 2021. Disponível em: <https://corporatesolutions.swissre.com/brasil-seguros/nossas-solucoes/patrimonial.html>. Acesso em: 18 jul. 2021.

TEJADA, Lucas de Almeida; TERRA, Stela Xavier; FERREIRA, Jessica Rodrigues Paiva; FRANZ, Luis Antonio dos Santos. Aplicação da metodologia hazop no sistema de alimentação da formalha no processo de granulação em uma indústria de

fertilizantes. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 5, n. 9, p. 16990-17017, 2019. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n9-224>.

TELEKEN, Joel Gustavo. **Destilação**. Disponível em: https://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/material_didatico/2014/DESTILACAO_Prof_Joel_538343204e119.pdf. Acesso em: 04 jul. 2021.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA. **Portal laboratório virtual**. FUNDAMENTOS. 2007. Coimbra, Portugal. Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=223&Itemid=413#7. Acesso em: 04 jul. 2021.

VAL AÇO ACESSÓRIOS INDUSTRIAIS LTDA.. **VÁLVULAS TIPO GLOBO**. 2015. Disponível em: http://www.valaco.com.br/inf_tecnicas/tipo_globo.html. Acesso em: 17 jul. 2021.

VERQUÍMICA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. (São Paulo). **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ**. Metanol. 2012. Disponível em: https://www.santos.sp.gov.br/static/files_www/conteudo/DadosAbertos/FISPQ%20Metanol.pdf. Acesso em: 04 jul. 2021.