



AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA, INCORPORANDO GESTÃO DE RISCO: ESTUDO DE CASO APLICADO AO RESERVATÓRIO DE VINHAÇA DE UMA REFINARIA SUCROENERGÉTICA

Leopoldo Deutsch

Orientador: Armando de Azevedo Caldeira-Pires

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO-2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PUBLICAÇÃO: ENM-DT 54/2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DD486a	Deutsch, Leopoldo Avaliação do Ciclo de Vida de um sistema de energia, incorporando Gestão de Risco: estudo de caso aplicado ao reservatório de vinhaça de uma refinaria sucroenergética / Leopoldo Deutsch; orientador Armando de Azevedo Caldeira Pires. -- Brasília, 2018. 120 p. Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Mecânicas) -- Universidade de Brasília, 2018. 1. Indústrias. 2. Avaliação do Ciclo de Vida - ACV. 3. Gestão de Riscos - GR. 4. Refinaria sucroenergética. 5. Armazenamento de vinhaça. I. Caldeira-Pires, Armando de Azevedo, orient. II. Título.
--------	--

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DEUTSCH, L. (2018). *Avaliação do Ciclo de Vida de um sistema de energia, incorporando Gestão de Risco: estudo de caso aplicado ao reservatório de vinhaça de uma refinaria sucroenergética*. Publicação ENM-DT 54/2018. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, DF, 120p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leopoldo Deutsch

TÍTULO: Avaliação do Ciclo de Vida de um sistema de energia, incorporando Gestão de Risco: estudo de caso aplicado ao reservatório de vinhaça de uma refinaria sucroenergética.

GRAU: Doutor

ANO: 2018

É concedida à Universidade Brasília permissão para reproduzir cópia desta tese de doutorado, para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Leopoldo Deutsch

leo@unb.br

AGRADECIMENTOS

À minha família, pela paciência com que suportaram minhas ausências, crises e dúvidas ao longo dessa jornada.

Ao professor Armando de Azevedo Caldeira-Pires, mais que um orientador, por sua humanidade, equilíbrio e gentileza, apesar da quantidade de vezes em que testei sua paciência.

Aos demais professores do Departamento de Ciências Mecânicas da Universidade de Brasília (ENM-UnB), pela oportunidade de raro aprendizado;

Ao agora amigo Tainá, pela ajuda com o *software* e pelas opiniões sempre muito válidas.

Aos colegas de curso, pela convivência.

Aos muitos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, me ajudaram na confecção deste trabalho.

“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece.”

Benjamin Disraeli

RESUMO

Acidentes industriais e a operação em regime permanente das indústrias podem afetar significativamente o meio ambiente. Apesar das metodologias voltadas ao entendimento desses efeitos utilizarem insumos semelhantes em suas análises, são aplicadas de forma independente e em momentos distintos. Este estudo propõe a metodologia ACVR – Avaliação do Ciclo de Vida e Risco, que amplia o escopo da Avaliação do Ciclo de Vida com a incorporação de técnicas da Gestão de Risco. A partir da introdução controlada de perturbações sobre o cenário de operação em regime permanente de uma instalação, podem ser simulados acidentes, permitindo avaliar as emissões ambientais crônicas e transientes de forma integrada, observando-se abordagens orientadas ao problema e ao dano. O método é estendido até a atribuição de um nível de risco para um acidente particular por meio da identificação de outros impactos tangíveis e intangíveis e da probabilidade associada. A ACVR foi aplicada na avaliação das emissões de GEE - gases de efeito estufa, de uma refinaria sucroenergética, encontrando-se para sua operação em regime permanente emissões de 154.577,63 kgCO₂eq e 0,216 DALY. A partir da introdução de perturbações no inventário de dados, foi simulado um acidente envolvendo o rompimento abrupto da barragem de um reservatório de vinhaça, com vazamento de 100% de seu conteúdo, evento que pode produzir emissões totais de 79.090,93 kgCO₂eq, e 0,09 DALY em 13 horas de duração do fenômeno. Embora a probabilidade de ocorrência desse evento não seja significativa, de apenas 0,79% por ano, o risco associado foi considerado inaceitável, frente a outros impactos tangíveis e intangíveis. Os resultados encontrados mostram que ACVR teve sucesso em permitir avaliar de maneira integrada impactos crônicos e transientes a partir de um único inventário de dados, contribuindo com os processos de gestão na definição de medidas voltadas para a mitigação de emissões crônicas e a prevenção de acidentes tecnológicos.

Palavras-chave: Indústrias. Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. Gestão de Riscos – GR. Refinaria sucroenergética. Armazenamento de Vinhaça.

ABSTRACT

Industrial accidents and steady-state operation of industries may significantly affect the environment. Although the methodologies aimed to understand these effects use similar inputs in their analysis, these are applied independently and at different moments. This essay proposes the methodology LCRA – Life Cycle and Risk Assessment, which extends the scope of the Life Cycle Assessment with the incorporation of Risk Management techniques. From the controlled introduction of disturbances on the steady-state operation scenario of an installation, accidental events can be simulated, allowing the evaluation of chronic and transient environmental emissions in an integrated way, observing approaches oriented to the problem and to the damage. The method can be expanded up to the assignment of a level of risk to a given accident through the identification of other tangible and intangible impacts and of the associated likelihood. LCRA was applied to assess the GHG greenhouse gases, emissions from a sugar-ethanol refinery. We found emissions of 154,577.63 kgCO₂eq and 0.216 DALY for its steady-state operation. From the perturbations introduction in the inventory data, an accident involving the abrupt rupture of the dam of the vinasse reservoir was simulated, with 100% leakage of its content. This event can produce total emissions of 79,090.93 kgCO₂eq and 0.09 DALY in 13 hours duration of the phenomenon. Although the probability of this occurrence is not significant, only 0.79% per year, the associated risk was considered unacceptable, as opposed to other tangible and intangible impacts. The results show that LCRA was successful in allowing the integrated evaluation of chronic and transient impacts, from a unique data inventory. The methodology can assist the management processes in the definition of measures oriented to mitigate chronic emissions and prevent technological accidents.

Keywords: Industries. Life-Cycle Assessment – LCA. Risks Management - RM. Sugar-ethanol refinery. Vinasse storage.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	20
1.2 Estrutura da tese.....	20
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
1.1 Avaliação do ciclo de vida	22
<i>1.1.1 Definição de escopo e objetivo</i>	<i>22</i>
<i>1.1.2 Inventário do ciclo de vida</i>	<i>23</i>
<i>1.1.3 Avaliação do inventário do ciclo de vida</i>	<i>24</i>
<i>1.1.3.1 Mecanismo ambiental e metodologias de avaliação.....</i>	<i>25</i>
<i>1.1.4 Interpretação</i>	<i>27</i>
<i>1.1.5 Introdução de perturbações em ACV.....</i>	<i>28</i>
<i>1.1.6 Sistemas de avaliação de impacto ambiental</i>	<i>29</i>
<i>1.1.6.1 Relacionamento entre CML e ReCiPe.....</i>	<i>31</i>
<i>1.1.7 Iniciativas para introdução de gestão de risco em ACV.....</i>	<i>32</i>
1.2 Gestão de riscos	35
<i>1.2.1 Análise dos riscos</i>	<i>39</i>
<i>1.2.1.1 Identificação de perigos</i>	<i>39</i>
<i>1.2.2 Avaliação dos riscos</i>	<i>41</i>
<i>1.2.3 Demais atividades da gestão de riscos</i>	<i>41</i>
<i>1.2.4 Princípio da precaução e ALARP.....</i>	<i>42</i>
<i>1.2.5 Cálculo da probabilidade de um acidente.....</i>	<i>44</i>
1.3 Análise de cenários.....	46
2 METODOLOGIA PROPOSTA – ACVR	48
2.1 Escopo e Objetivo.....	50
2.2 Inventário do Ciclo de Vida e Risco	54
2.3 Avaliação do do Inventário do Ciclo de Vida e Risco.....	56
<i>2.3.1 Atribuição de um nível de risco para eventos transientes</i>	<i>57</i>
2.4 Interpretação.....	63

2.5	Monitoramento e Controle.....	64
2.6	Considerações finais	64
2.6.1	<i>Utilização do software GaBi Education</i>	64
2.6.2	<i>Avanços proporcionados por ACVR.....</i>	65
3	ESTUDO DE CASO	66
3.1	Contextualização do estudo.....	66
3.2	ACVR: escopo e objetivo.....	66
3.3	Inventário do ciclo de vida e risco	71
3.4	Avaliação de impactos do ciclo de vida e risco.....	88
3.4.1	<i>Emissões considerando impactos intermediários.....</i>	88
3.4.2	<i>Emissões considerando danos finais</i>	91
3.4.3	<i>Relacionamento entre emissões crônicas e permanentes</i>	92
3.4.4	<i>Identificação de outros impactos associados aos eventos transientes</i>	95
3.5	Interpretação.....	99
3.5.1	<i>Discussão sobre a operação em regime permanente</i>	100
3.5.2	<i>Discussão sobre os eventos transientes.....</i>	101
3.5.3	<i>Relacionamento das emissões crônicas e transientes.....</i>	101
3.5.4	<i>Medidas de mitigação de impacto ambiental e risco</i>	102
3.6	Comunicação e monitoramento.....	103
	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	105
	REFERÊNCIAS.....	108
	ANEXOS.....	I
	ANEXO 1 – PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO TECNOLÓGICO DA USINA JALLES MACHADO S.A.....	II
	Anexo 1 – Parte A - Detalhamento sucinto da construção do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.....	II
	Anexo 1 – Parte B – Discussão sobre o processo de geração de vinhaça e aspectos contaminantes associados a esse efluente	XIII
	Anexo 1 – Parte C - Detalhamento do processo de construção de planos e processos do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.	XV

ANEXO 2 – ESTIMATIVA DE INCERTEZAS DO TIPO A E B E MATRIZ PEDIGREE. LXXXVI

ANEXO 3 – CÁLCULO DA EMISSÃO MÉDIA DE CO₂ EM RESERVATÓRIOS DE VINHAÇA E DE OUTROS GEE.....XCI

Anexo 3 – Parte A – Apresenta os cálculos para a emissão média de CO₂ e outros GEE em reservatórios de vinhaçaXCI

Anexo 3 – Parte B – Discussão sobre barragens de terra e apresentação das equações fundamentais para o cálculo do rompimento e formação de onda de inundaçãoCIV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relacionamento das abordagens <i>Midpoint</i> e <i>Endpoint</i> com o ICV.....	25
Figura 2: Representação esquemática do relacionamento entre os dados do ICV e a AICV, considerando a emissão de GEE	26
Figura 3: Processo da Gestão de Riscos.....	38
Figura 4: Processo para identificação de perigos	40
Figura 5: Estrutura conceitual de <i>ALARP</i>.	42
Figura 6: Matriz Impacto <i>versus</i> Probabilidade.....	43
Figura 7: Modelo esquemático de ACVR, destacando o relacionamento do processo com a metodologia de avaliação adotada.....	49
Figura 8: ACVR – Incorporação em ACV de técnicas de Gestão de Risco	50
Figura 9: Planilha para identificação de perigos	52
Figura 10: Indicadores de categoria para metodologias <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i>	56
Figura 11: Matriz de Consequências para mensuração de impactos tangíveis e intangíveis.....	58
Figura 12 - Discussão e conclusões da etapa de Interpretação referentes a avaliação dos resultados.....	63
Figura 13: Visão aérea da Usina Jalles Machado S.A.....	67
Figura 14: Complexo de lagoas e reservatório para resfriamento e armazenamento da vinhaça.....	69
Figura 15: Principal reservatório de vinhaça, destacando-se a estrutura artificial construída para a contenção da vinhaça.	70
Figura 16: Adequação do modelo tecnológico para comportar análise de impactos ambientais da operação em regime permanente e de eventos transientes sobre o Reservatório de vinhaça, modelado no software <i>GaBi Education</i>.....	73
Figura 17: Processos desenvolvidos no software <i>GaBi Education</i> para controle dos eventos transientes.....	74
Figura 18: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando os principais modos de falha.	79
Figura 19: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Rompimento do talude por ato extremo"	79
Figura 20: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem,	

com inundação", evidenciando o modo de falha "Galgamento", destacando os eventos básicos mapeados.....	80
Figura 21: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Instabilidade do talude"	81
Figura 22: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Falha de projeto"	82
Figura 23: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Processo erosivo no talude"	82
Figura 24: Árvore de falhas destacando os modos de falha e eventos básicos para vazamento no maciço da barragem.	86
Figura 25: Intervalo de variação das emissões do reservatório, considerando o volume correspondente ao fluxo elementar e o volume máximo para o armazenamento - cenário de operação em regime permanente – categoria de impacto Potencial de aquecimento global (CML2001 – Jan.2016), metodologia <i>midpoint</i>	89
Figura 26: Resultados obtidos para o cenário de operação em regime permanente – categoria de impacto Potencial de aquecimento global (CML2001- Jan 2016), metodologia <i>midpoint</i>	90
Figura 27: Valores de impacto obtidos para cada cenário transiente (valores em kgCO ₂ eq) – Categoria de impacto Potencial de aquecimento global - metodologia <i>midpoint</i> (CML2001 – Jan. 2016)	90
Figura 28: Resultados para o cenário de operação em regime permanente – Categoria de impacto Mudanças Climáticas (HH) - metodologia <i>endpoint</i> (ReCiPe 1.08) – todos os processos	91
Figura 29: Impactos produzidos pelo Reservatório e para os cenários de eventos transientes – Categoria de impacto Mudanças Climáticas - metodologia <i>endpoint</i> (ReCiPe 1.08).....	92
Figura 30: Distribuição temporal das emissões na ocorrência de vazamento de 100%. .	94
Figura 31: Possível área afetada em caso de rompimento abrupto da barragem de contenção de vinhaça.....	96
Figura 32: Inclusão de Biodigestor como processo adicional para o tratamento e aproveitamento da vinhaça.....	102
Figura 33: Aproveitamento alternativo do bagaço de cana de açúcar para alimentação animal ou produção de etanol de 2ª geração, em paralelo a cogeração	102

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de caracterização para conversão de <i>midpoint</i> para <i>endpoint</i>	31
Tabela 2: Proposta de integração entre ACV e Gestão de Risco (continua)	32
Tabela 3: Proposta de integração entre ACV e Gestão de Risco (continua)	33
Tabela 4: Proposta de integração entre ACV e Gestão de Risco (conclusão)	34
Tabela 5: Algumas definições para os termos perigo e risco	36
Tabela 6: Definição adotada para os termos dano, vulnerabilidade e resiliência.	36
Tabela 7: Espaço para decisão na análise do potencial de danos.....	43
Tabela 8: Alguns símbolos básicos utilizados na construção de uma Árvore de Falhas..	46
Tabela 9: Exemplos de ameaças internas e externas presentes em plantas industriais...	53
Tabela 10: Detalhamento da abordagem <i>Midpoint</i> para os GEE de interesse.....	57
Tabela 11: Detalhamento da abordagem <i>Endpoint</i> para os GEE de interesse	57
Tabela 12: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (continua)	59
Tabela 13: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (continua)	60
Tabela 14: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (continua)	61
Tabela 15: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (conclusão).....	62
Tabela 16: Processos de uma refinaria sucroenergética, vulnerabilidades e possíveis acidentes	68
Tabela 17: Valores de emissão para os gases CO ₂ , N ₂ O e CH ₄ , conforme cenário de interesse.	72
Tabela 18: Finalidade dos processos desenvolvidos para controle de eventos transientes.	74
Tabela 19: Parâmetros globais informado no software <i>GaBi Education</i> , como parte da estrutura necessária para simulação de eventos transientes	75
Tabela 20: Processos, parâmetros locais e equações desenvolvidas no software <i>GaBi Education</i> , como parte da estrutura necessária para simulação de eventos transientes..	75
Tabela 21: Eventos de rompimentos e vazamentos em barragens (continua)	76
Tabela 22: Eventos de rompimentos e vazamentos em barragens (conclusão)	77
Tabela 23: Descritores verbais e probabilidades associadas	78
Tabela 24: Evento “Rompimento abrupto da Barragem”: atribuição de valores de probabilidades para eventos básicos da árvore de falhas de interesse (continua).....	83
Tabela 25: Evento “Rompimento abrupto da Barragem”: atribuição de valores de probabilidades para eventos básicos da árvore de falhas de interesse (conclusão).....	84

Tabela 26: Evento topo – Vazamento: atribuição de valores de probabilidades para eventos básicos da árvore de falhas de interesse.....	87
Tabela 27: Valores de probabilidades definidas para os eventos transientes.	88
Tabela 28: Parâmetros e valores de interesse para análise dos impactos produzidos pelo rompimento de barragens.....	97
Tabela 29: Matriz de Consequências - Impactos provocados pelo rompimento abrupto da barragem.	97
Tabela 30: Nível de risco atribuído considerando a combinação entre a severidade do impacto e a probabilidade.....	98
Tabela 31: Impactos produzidos considerando a operação em regime permanente	99
Tabela 32: Impactos, probabilidades e riscos associados ao evento transiente de interesse	100

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

CH ₄	Gás Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
DALY	Disability-Adjusted Life Year
<i>f</i>	Fluxo ou Função
<i>f_c</i>	Fator de Conversão
h	Hora
<i>I</i>	Impacto
<i>i</i>	Substância
<i>j</i>	Categoria de Impacto
kg	Kilograma
KW	Kilowatt
<i>M</i>	Quantificação de Massa ou Energia
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
min	Minuto
MW	Megawatt
N	Norte
N ₂ O	Óxido de Nitroso
<i>P</i>	Probabilidade
<i>R</i>	Risco
S	Sul
W	Watt
<i>δf</i>	Perturbação em um fluxo

INDICE DE ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVR	Avaliação do Ciclo de Vida e Risco
AICV	Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida
AICVR	Avaliação do Ciclo de Vida e Risco
ALARP	<i>As Low As Reasonably Practicable</i> (tão baixo quanto razoavelmente possível)
CML	Institute of Environmental Sciences – Leiden University, Holanda.
FTA	Árvore de Falhas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GO	Estado de Góias (Brasil)
GR	Gestão de Risco
GWP	Global Warming Potential
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ICVR	Inventário do Ciclo de Vida e Risco
kgCO _{2eq}	quilograma de CO ₂ equivalente
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
PAG	Potencial de Aquecimento Global
ReCiPe	Método de LCIA desenvolvido por RIVM – National Institute for Public Health and the Environment, Holanda

INTRODUÇÃO

A liberação de poluentes na natureza a partir das ações antrópicas interferem no delicado equilíbrio dos diversos ecossistemas que sustentam a vida em nosso planeta. As indústrias contribuem para essas emissões a partir de diversas fontes, dentre as quais podem ser destacadas as emissões de poluentes a partir de sua operação em regime permanente, na forma de liberações contínuas, ou crônicas, e a partir de situações não previstas, como na ocorrência de acidentes tecnológicos, ou transientes. Neste último caso, essas emissões podem ocorrer em volumes significativos, sendo liberadas de forma abrupta e incontrolável.

Os impactos produzidos pelas emissões crônicas são muitas vezes subestimados, principalmente por degradar o meio ambiente de forma lenta, tornando difícil sua percepção, mesmo quando os volumes emitidos tendem a crescer no tempo, na medida em que as indústrias se adaptam para atender a crescente demanda por bens e outros produtos.

As emissões produzidas pelos eventos transientes muitas vezes são consequência da multiplicidade de tecnologias e processos operando de forma simultânea nas indústrias, que resultam em fragilidades que são exploradas por fatores internos e externos às organizações e que podem resultar em acidentes tecnológicos. Embora raros, esses eventos podem ser considerados como típicos da atividade industrial.

Entender as consequências das emissões crônicas ou derivadas de eventos transientes é uma atividade complexa, pela dificuldade em se determinar o alcance das interações causadas por sua acumulação no meio ambiente. Mas, já é consenso que se os volumes desses poluentes lançados ultrapassarem a capacidade de suporte dos ecossistemas, podem provocar mudanças ambientais irreversíveis, com consequências negativas para a vida humana e para o ambiente natural. (CLUZEL *et al*, 2014; JOHN *et al*, 2017; PELLECCIA; NEGRI, 2018; ROCKSTRÖM *et al*, 2009)

Kortov, Ustyantsev (2013) e Tsuda *et al* (2009) destacam que em muitas situações os prejuízos ambientais provocados pela operação em regime permanente de uma instalação somente são percebidos quando da ocorrência de um evento transiente, pois o lançamento massivo de poluentes contribui para dar visibilidade aos prejuízos provocados pelas emissões contínuas.

É consenso hoje que a qualidade de vida está intimamente associada à qualidade do meio ambiente. Tal percepção tem provocado o desenvolvimento de políticas ambientais que consideram questões ligadas à sustentabilidade, bem como aspectos voltados ao incentivo de comportamentos ambientalmente responsáveis, por meio de ações de controle por órgãos reguladores. A sociedade tem também exigido uma postura ambientalmente correta na produção de bens, incluindo esse requisito na seleção e definição de produtos. Assim, como forma de legitimar suas atividades e expor suas preocupações com as questões ambientais, as indústrias têm incluído em suas estratégias a gestão das emissões crônicas e a prevenção de eventos transientes, sendo encorajadas a desenvolver, utilizar e divulgar a adoção de medidas e práticas ambientalmente sustentáveis, como o resultado do uso de indicadores de qualidade ambiental para a gestão adequada das emissões e de outras intervenções sobre o meio ambiente (GAN *et al*, 2012; STREIMIKIENE, 2015).

Da Rosa *et al* (2015) e Mirasgedis *et al* (2008) destacam que pela complexidade dos temas envolvidos, para a incorporação dessas preocupações no processo de planejamento, tomada de decisão e gestão das indústrias é necessário a aplicação de técnicas especializadas, existentes ou novas. Entre as metodologias consagradas de apoio à decisão, destacam-se a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, preocupada com as consequências ambientais produzidas pela operação em regime permanente, e a Gestão de Riscos, coleção de técnicas e métodos voltados à identificação do risco associado à ocorrência de eventos transientes, mensurando seus impactos e chances de ocorrência no tempo (DARBRA *et al*, 2008; TILLMAN, 2000).

Ao longo de seu desenvolvimento, a Avaliação do Ciclo de Vida internalizou um conjunto de convenções, como o relacionamento das entradas e saídas de uma mesma substância a uma medida de desempenho do produto gerado pelo sistema tecnológico de interesse. Por conta desta e de outras particularidades, os dados que compõe os inventários que suportam as análises ambientais na ACV perdem sua relação com as dimensões temporais e espaciais específicas do contexto examinado. Considera-se ainda que as características e propriedades dos processos do sistema tecnológico examinado não se alteram, estando em estado de permanente equilíbrio interno e externo. Desta forma, a Avaliação do Ciclo de Vida não é utilizada para avaliar as consequências de eventos transientes, ou de avaliar probabilidades e definir níveis de risco.

Para alcançar seus resultados, a Avaliação do Ciclo de Vida utiliza os conceitos de um mecanismo ambiental, operando com grandes balanços de massa que são associados a

fatores de caracterização, resultando em indicadores de categoria que podem revelar problemas intermediários – como o potencial de aquecimento global representado pela emissão de gases de efeito estufa, ou finais, como a mudança climática provocada pelo aumento de temperatura causada pelo acúmulo desses gases na natureza, com prejuízos para a saúde humana, para o ambiente natural e para os recursos naturais. Embora a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida raramente seja mandatória, sua utilização pelas empresas vem crescendo ao longo dos anos pelo seu potencial e recursos.

Por outro lado, a Gestão de Riscos discute os efeitos das ameaças internas e externas que exploram vulnerabilidades em processos de um sistema tecnológico, mapeando quais fluxos e depósitos mássicos ou energéticos que podem ser afetados. Agrega recursos que permitem avaliar a probabilidade de que uma vulnerabilidade possa efetivamente resultar em um acidente tecnológico e contribui para a definição do nível de risco associado. Neste contexto, a Gestão de Risco parte do pressuposto de que o sistema tecnológico não se encontra em equilíbrio, e que a interação entre seus processos e do sistema com o meio externo variam constantemente influenciados por diversos fatores.

A Gestão de Riscos admite que fatores internos e externos podem levar a situações em que são ultrapassados limites de segurança definidos, podendo desencadear acidentes de diferentes consequências, como aqueles caracterizados como desastres, ou acidentes maiores. Nestes casos, temos a emissão abrupta e incontrolável de grandes volumes de massa e energia ao meio ambiente.

Estimar os impactos provocados pelos acidentes industriais, notadamente os ambientais, constitui-se em uma das áreas de maior ambiguidade dentro da Gestão de Riscos. Isso ocorre pela complexidade dos contextos ecológicos envolvidos e pela dificuldade em se estabelecer com precisão a futura ocupação socioeconômica dos espaços afetados. Apesar disso, a metodologia fornece um indicativo do nível de risco associado aos eventos de interesse, sendo por isso frequentemente utilizada para orientar o desenvolvimento de barreiras protetivas e mitigatórias. Por essa característica, entre outras, a Gestão de Riscos é mandatória em muitas situações, pela necessidade de se proteger a vida humana, o meio ambiente e o contexto econômico.

Assim, na medida em que ACV dispõem de recursos de excelência para o tratamento de emissões produzidas por sistemas tecnológicos, perde ao longo de seus processos as

dimensões temporais e espaciais, a Gestão de Riscos dispõe de uma gama de recursos que permitem explorar cenários preditivos, considerando desdobramentos no tempo e tomando em conta as características espaciais do contexto envolvido.

Apesar de abordarem áreas de preocupação ambiental distintas, a Avaliação do Ciclo de Vida e a Gestão de Riscos podem ser consideradas complementares, pois sua aplicação permite conhecer inteiramente os prejuízos crônicos e potenciais resultantes da operação de um sistema tecnológico.

Ainda, temos que as duas metodologias se valem em muitas situações de insumos semelhantes ou até mesmo iguais para a construção dos inventários de dados que suportam suas análises e avaliações. Como atualmente sua aplicação, quando ocorre, se dá em momentos distintos, temos a ocorrência de replicação de esforços e a possibilidade do uso de informações conflitantes, o que pode acarretar conclusões inadequadas que conduzam a decisões conflitantes.

Desta forma, justifica-se o desenvolvimento de metodologia que integre as técnicas da Gestão de Riscos, notadamente a Análise e a Avaliação de Riscos, na estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida, de modo que a partir de um único inventário de dados seja possível se identificar os impactos ambientais crônicos, e aqueles produzidos por falhas tecnológicas em uma indústria. A utilização de um único inventário de dados, mesmo que ampliado com outras informações, irá permitir economia de recursos e tempo, pelo compartilhamento de dados e informações.

A utilização da ACV na identificação dos impactos ambientais produzidos pela operação em regime permanente e derivados de eventos transientes pode contribuir para produção de resultados mais robustos, contribuindo para melhorar o entendimento das consequências ambientais da operação de um sistema tecnológico. Os resultados obtidos podem ser estudados em conjunto com outros impactos tangíveis e intangíveis produzidos por um evento transiente, e, caso calculado a probabilidade da ocorrência do acidente, é possível atribuir um nível de risco ao evento de interesse. A ACV como instrumento central na análise e avaliação de impactos ambientais de acidentes tecnológicos reduz a incerteza presente na discussão de impactos ambientais em cenários preditivos, contribuindo para uma melhor tomada de decisão e na adoção de medidas de controle e monitoramento.

1.1 Objetivos

Uma vez que ACV não apresenta recursos que lhe permitam avaliar impactos produzidos por acidentes industriais, o objetivo geral deste trabalho é propor metodologia que incorpore na Avaliação do Ciclo de Vida recursos da Gestão de Riscos, permitindo avaliar impactos ambientais de eventos transientes, frente aqueles produzidos pela operação em regime permanente.

Para alcançar esse objetivo, propõe-se:

- Identificar na Avaliação do Ciclo de Vida uma forma de introduzir na modelagem de um sistema tecnológico, perturbações em fluxos que possam representar cenários transientes;
- Considerando o funcionamento de mecanismos ambientais, analisar o relacionamento entre metodologias *midpoint* e *endpoint*; e,
- Discutir o desenvolvimento de indicadores de qualidade ambiental que permitam monitorar a estabilidade das emissões quando da operação da indústria em regime permanente, frente às mudanças de tecnologias, insumos e processos e em situações de demandas de melhoria em processos tradicionais.

1.2 Estrutura da tese

Esta tese está estruturada em cinco capítulos principais, conforme abaixo:

Introdução: apresenta os elementos motivadores para este trabalho, como a oportunidade de integração entre ACV e GR, e os principais temas que alicerçam este estudo. São detalhados os objetivos geral e específico e a estrutura geral da tese.

Revisão bibliográfica: os principais conceitos necessários para a realização do estudo são levantados. É aprofundado o entendimento sobre aspectos relevantes da Avaliação do Ciclo de Vida, como a introdução de perturbações na modelagem de um sistema tecnológico, o detalhamento de categorias de impacto, entre outras. A Gestão de Riscos é apresentada, e suas diferentes etapas e técnicas aprofundadas. São discutidos diferentes cenários, sua integração a ACV, e os requisitos necessários para o desenvolvimento da

metodologia proposta. Iniciativas de integração entre as metodologias de interesse são detalhadas;

Metodologia Proposta: é apresentada a metodologia ACVR – Avaliação do Ciclo de Vida e Risco, que integra funcionalidades das metodologias de base, permitindo que as emissões ambientais de eventos transientes sejam avaliadas juntamente com aquelas produzidas quando da operação em regime permanente. Com a avaliação de outros impactos, tangíveis e intangíveis, e do cálculo das probabilidades associadas ao evento transiente de interesse tornando-se possível a atribuição do nível de risco associado. A utilização das emissões produzidas pela operação em regime permanente é utilizada para monitorar ao longo do tempo a estabilidade das emissões crônicas;

Estudo de caso: a metodologia desenvolvida é aplicada sobre uma refinaria sucroenergética, que produz etanol a partir da fermentação do caldo extraído da cana de açúcar. São calculados os impactos produzidos pela operação em regime permanente e aquele associado a diversos cenários de vazamento de vinhaça pelo principal reservatório desse efluente, atribuindo-se um nível de risco a cada um desses contextos;

Conclusões e recomendações: apresenta as conclusões do estudo e são discutidas as oportunidades para trabalhos futuros.

Anexo 1 – Procedimentos para a construção do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.: destaca o processo de caracterização do sistema tecnológico de interesse, destacando a utilização de parâmetros globais e locais e a parametrização de equações;

Anexo 2 – Estimativa de incertezas do tipo A e B e Matriz Pedigree: aprofunda a metodologia para o aprimoramento de dados coletados por meio de medições e obtidos por meio da literatura, como forma de reduzir a influência de incertezas epistêmicas;

Anexo 3 – Metodologia para o cálculo da emissão de CO₂ e outros GEE em reservatórios de vinhaça: destaca-se o desenvolvimento do método utilizado para calcular o volume de CO₂ emitido por kg de vinhaça, e de outros GEE, a partir de reservatórios de vinhaça.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Avaliação do ciclo de vida

A Avaliação do Ciclo de Vida destaca-se entre os métodos destinados ao apoio à gestão, por apresentar uma abordagem analítica das consequências ambientais sistêmicas das atividades humanas, tratando de maneira integrada o sistema tecnológico, a qualidade dos dados e a avaliação dos impactos (LINKOV; SEAGER, 2011, KHASREEN *et al*, 2009).

Sua realização exige um o levantamento de significativo volume de dados de alta qualidade para a realização de análises e avaliações, o que pode tornar seu desenvolvimento extremamente oneroso. Assim, reduzir o escopo para um segmento particular do ciclo de vida – de portão a portão, por exemplo, pode ser uma estratégia adequada para o estudo mais aprofundado de um tema (KIM; OVERCASH, 2003). Chevalier, Tfino (1996) e outros autores nos trazem um conjunto de hipóteses que devem ser consideradas ao longo do processo de desenvolvimento de uma ACV. Dentre essas, destaca-se a separabilidade, que estabelece que o sistema de produto é limitado por suas fronteiras e independente do ambiente externo a ele; a estabilidade, que considera que os processos contidos no sistema de produto estão em estado estacionário, não se alterando no tempo; a precisão e o equilíbrio, pela qual se assume que todos os valores associados aos fluxos trocados entre o sistema de produto, o mundo externo e entre seus processos internos são únicos e exatos; estado de equilíbrio, ou seja, o sistema de produto não está sujeito a riscos; e modelo contínuo, dentro do qual se presume que o sistema de produto reage continuamente a solicitações invariáveis.

A partir dessa breve discussão, percebe-se que ACV perde, ao longo de seu desenvolvimento, seus vínculos com o momento temporal da realização da análise e com o contexto espacial de localização da instalação estudada.

A ACV está estruturada em quatro fases, a saber: Definição de Escopo e Objetivo; Inventário do Ciclo de Vida; Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida e Interpretação. Discute-se na sequência cada uma dessas fases dentro do contexto deste estudo.

1.1.1 Definição de escopo e objetivo

Etapa em que se busca a compreensão dos propósitos e limites do estudo, em paralelo ao entendimento do sistema tecnológico de interesse, suas características, finalidades, fronteiras, entre outros. Alguns requisitos desta etapa são: (i) a definição da unidade

funcional, padrão a ser observado na ponderação das emissões para o meio ambiente do sistema de produto, o que permite, entre outras possibilidades, comparar o desempenho de diferentes sistemas; (ii) a definição de requisitos para a seleção, coleta e preparação dos dados que irão compor os inventários de dados, garantindo um padrão mínimo de qualidade na sua composição; (iii) a seleção das categorias de impacto, preocupações relevantes que serão objeto de estudo; e (iv) a indicação da metodologia de avaliação de interesse: se *midpoint* ou *endpoint*, ou ambas (ANDERI *et al*, 2014; HEIJUNGS *et al*, 2004; JRC, 2010).

1.1.2 Inventário do ciclo de vida

O Inventário do Ciclo de Vida – ICV constitui-se na atividade de levantamento de todos os processos contidos nas fronteiras do sistema de produto, dos fluxos elementares e as interações do sistema de produto com o meio externo as suas fronteiras. Para Anderi *et al* (2014), os valores encontrados para cada fluxo devem ser ponderados frente à unidade funcional selecionada.

A construção do ICV é uma etapa bastante onerosa, por exigir o tratamento de significativo volume de dados. Por consequência, apresenta maior complexidade, seja pela dificuldade na obtenção de dados confiáveis próprios e de terceiros, ou pelo desinteresse ou reticências de muitas empresas em dar visibilidade aos seus inventários (REBITZER *et al*, 2004; SATOSHI *et al*, 2006; SUH; HUPPES, 2005; UNEP, 2003). A análise do inventário pode ser expressa na forma da Equação 1, abaixo:

$$M_i = \sum_k M_{ik} \quad \mathbf{(1)}$$

Onde (M_i) é a quantificação de uma emissão ou extração de uma substância (i) por todas as atividades (k) dentro dos limites de um sistema tecnológico.

A partir dos diferentes resultados da Equação 1 para todas as substâncias (i) de interesse em um sistema de produto, o ICV resultante é uma lista de materiais e requisitos de energia, produtos e coprodutos, resíduos e emissões para o ar, solo e água, e outras atividades, como a validação dos dados recuperados e outras análises (MIETTINEN; HÄMÄLÄINEN, 1997; SONNEMANN *et al*, 2004).

Um dos principais desafios para a construção de um ICV é a qualidade dos dados que o compõem, que podem estar contaminados por incertezas diversas. A ausência de um conhecimento específico sobre um tema de interesse na construção do ICV é considerada

como uma incerteza aleatória, ou irreduzível. Nestas situações, é necessário se buscar a opinião de terceiros, que trazem consigo opiniões e julgamentos subjetivos, derivados das crenças pessoais de quem as produziu. A falta de consenso, a incompletude ou imprecisão de dados ou informações se inserem nesse contexto, constituindo-se em incertezas epistêmicas ou redutíveis (FERDOUS *et al*, 2012; LI, YIPING *et al*, 2014).

Embora a metodologia de ACV traga diversas orientações para a mitigação de incertezas, não é observada uma orientação comum no aprimoramento de dados e informações obtidos por meio de medições, da literatura e da contribuição de especialistas. No Anexo 2 – Estimativa de Incertezas do Tipo A e B e Matriz Pedigree, discute-se como abordar e aplicar métodos específicos para a redução das incertezas nesses contextos.

1.1.3 Avaliação do inventário do ciclo de vida

A etapa de Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida – AICV, fornece informações que auxiliam na avaliação dos resultados obtidos no ICV, contribuindo para melhor entendimento de sua significância ambiental. As metodologias de avaliação empregadas em AICV observam a lógica de um mecanismo ambiental, iniciando-se com uma emissão e seus desdobramentos (elos causais) até seu efeito final, como consequências sobre a saúde humana, o ambiente natural e os recursos naturais.

A partir da Equação 1, temos que o impacto ambiental pode ser expresso na forma da Equação 2, conforme discutido por Fang e Heijungs (2015):

$$I_j = \sum_i M_i * f_{c_{ij}} \quad (2)$$

Na Equação 2, (I) é o indicador de impacto para uma categoria de impacto (j), causado por uma quantidade (M_i) de uma substância (i) e ajustada de acordo com um fator de conversão (f_c), utilizado para adequar-se às características particulares da categoria de impacto (j).

O indicador de impacto (I) é expresso na forma de indicadores de categoria, que podem representar as consequências ambientais intermediárias (abordagem midpoint) ou finais (abordagem endpoint), conforme o método adotado para a contabilização da relevância ambiental dos indicadores, constituindo-se em um elo para a proposição de soluções, conforme apresentado na Figura 1 (FANG; HEIJUNGS, 2015; ISMAEEL, 2018; PENNINGTON *et al*, 2004).

Na Figura 1 representamos graficamente a mecânica da Equação 2:

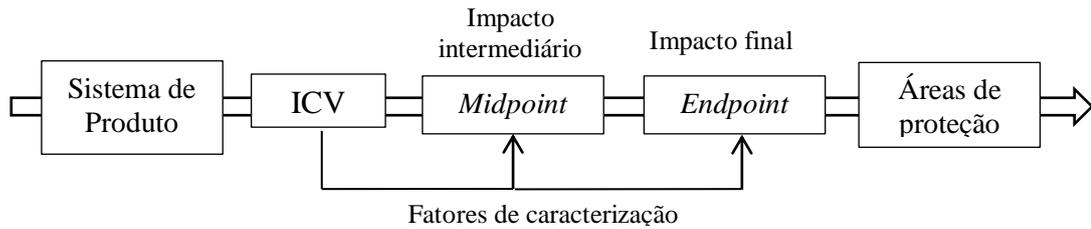


Figura 1: Relacionamento das abordagens *Midpoint* e *Endpoint* com o ICV

Fonte: Ismaeel (2018) (Adaptado).

Assim, considerando as definições estabelecidas na etapa de Escopo e Objetivo, realiza-se o cálculo do resultado dos indicadores de categoria por meio da correlação entre os resultados do ICV, categorias de impacto e metodologias de avaliação. Observada a necessidade, as definições previamente estabelecidas no Escopo e Objetivo podem ser modificadas.

1.1.3.1 Mecanismo ambiental e metodologias de avaliação

Os mecanismos ambientais são cadeias de eventos de causa-efeito que buscam traduzir a consequência da introdução ou extração de uma substância do meio ambiente em um dano específico, trazendo, por meio de fatores de caracterização, o impacto potencial na forma de uma unidade comum, ou indicador de categoria.

A Figura 2 detalha o mecanismo ambiental para as categorias de impacto PAG – Potencial de Aquecimento Global, e Mudanças Climáticas, exemplificando a relevância ambiental da introdução de uma substância a partir de uma abordagem *midpoint* e *endpoint*:

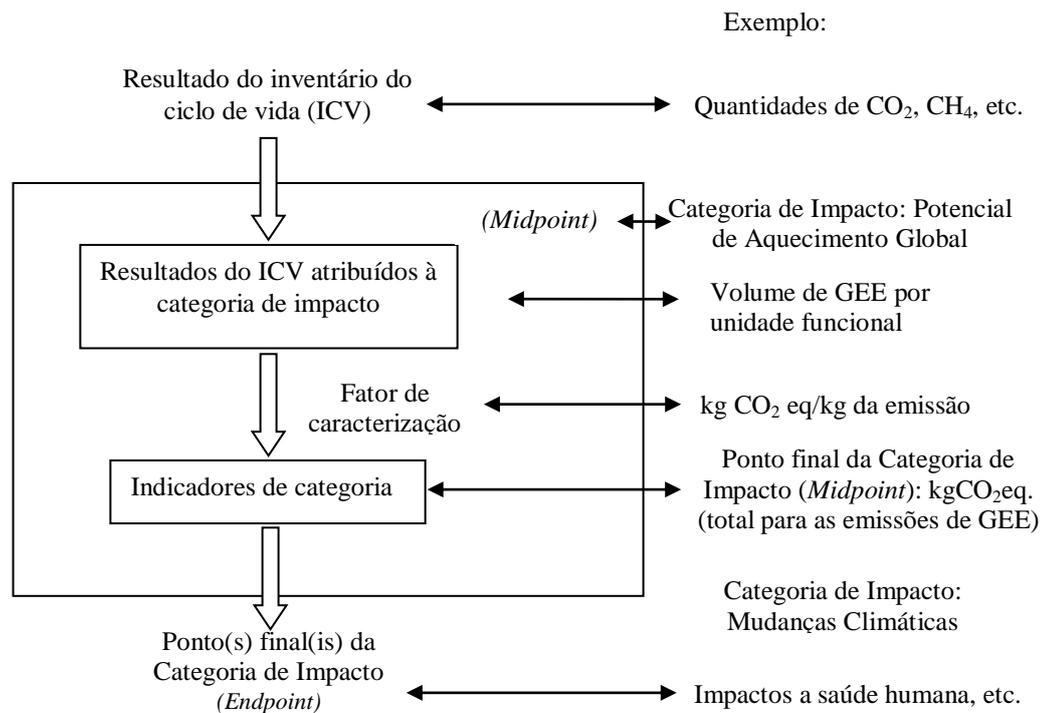


Figura 2: Representação esquemática do relacionamento entre os dados do ICV e a AICV, considerando a emissão de GEE

Fonte: Ferreira (2004) (Adaptado)

A definição da metodologia de avaliação é um elemento central em AICV. Por conta disso, detalha-se a seguir os principais aspectos de cada uma dessas abordagens:

Para Bare *et al* (2000), nas abordagens *midpoint* os modelos ambientais consideram os efeitos da ação humana sobre o meio ambiente. Esses modelos permitem maior aplicação em diferentes contextos, ambientes, e na modelagem de cenários para diferentes condições. É considerada uma abordagem orientada ao problema. Porém, os autores destacam que para algumas categorias de impacto relacionadas com a saúde humana e alguns efeitos ecossistêmicos, as metodologias *midpoint* podem ensejar questionamentos, principalmente pelo comportamento não linear das emissões, por vezes prolongadas e de características cumulativas, frente à resiliência ou a lenta regeneração de ecossistemas, ou ainda pela supressão de recursos não renováveis. Já nas abordagens *endpoint* os efeitos da ação humana sobre o meio ambiente são estendidos até suas consequências sobre a vida e a saúde humana, a qualidade de ecossistemas e o uso de recursos. Podem exigir maior espectro de mapeamento de fluxos mássicos e energéticos no ICV, pois se relacionam a uma ou mais categorias de impacto. É considerada uma abordagem orientada ao dano.

As metodologias *endpoint* podem facilitar o entendimento da importância de determinados processos nos ciclos produtivos, mas demandam um elevado grau de conhecimento das metodologias e dos processos em estudo, e a utilização de bases de dados de alta qualidade, com a participação direta de especialistas para a garantia da consistência das análises.

Porém Hauschild *et al* (2013) destacam que, considerando a aceitação do resultado das análises por decisores, pesquisas mostram que nenhum dos modelos de caracterização *endpoint* foram considerados completamente conformes, ou ao menos conformes em todos os seus pontos essenciais, o que ainda denota grande insegurança na sua utilização para a tomada de decisões mais críticas, o que não ocorrem com as abordagens *midpoint*, por mais que a sua análise não seja considerada a mais direta. Sua maior aceitação se deve pela menor quantidade de incertezas, principalmente na categoria de impacto PAG.

De forma global, as duas metodologias não existem separadamente e podem ser consideradas complementares, apesar de pesquisas propiciarem maior desenvolvimento de uma em detrimento de outra. Considerando um método frente ao outro, uma abordagem *endpoint* exige uma camada adicional de análises que passam por fatores de caracterização dotados de metodologias próprias, que relatarão na sua dinâmica empírica a importância das emissões ou da supressão de recursos (BARE *et al*, 2000).

Diversos autores, como Arpornpong *et al*, (2015), Dufour *et al*, (2013), Ismaeel (2018) e Pieragostini *et al*, (2014), destacam que pode ser recomendável integrar as metodologias *midpoint* e *endpoint* em uma estrutura comum para a modelagem da avaliação ambiental, uma vez que ambos os métodos podem exibir uma proporcionalidade linear, e os indicadores de ponto médio poderiam ser extrapolados e quantificados em indicadores de dano final, considerando no processo de avaliação métodos com diferentes abordagens para ampliar o escopo da análise.

1.1.4 Interpretação

A etapa de Interpretação trata da sumarização e discussão dos resultados obtidos anteriormente como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão conforme definições anteriores.

Para tanto, verifica-se a integridade dos estudos, garantindo que todos os elementos, informações e dados relevantes do trabalho foram considerados e estão disponíveis e

completos; a sensibilidade, que busca aferir a confiabilidade das análises e conclusões; e a consistência, que verifica se as suposições, métodos e dados estão alinhados com o estabelecido na etapa de Escopo e Objetivo. Oportunidades de melhoria podem ser levantadas e documentadas, além das recomendações que serão levadas ao conhecimento do público demandante (JRC, 2010).

1.1.5 Introdução de perturbações em ACV

Para Heijungs *et al* (2004), Heijungs, Suh (2002); Li, Yiping *et al* (2014) e Satoshi *et al* (2006), a ACV está sujeita a influência de diversos fatores de perturbação que podem afetar seus resultados, principalmente por sua dependência de grandes volumes de dados, e da dificuldade em obtê-los. Ainda, para Connor (2001), a ausência das dimensões espaciais e temporais em ACV também podem ser consideradas como formas de perturbação.

As perturbações destacadas não podem ser consideradas como propositais, e sim como uma consequência da estrutura metodológica da ACV. Por conta disso, a ACV orienta diversas ações para a redução do impacto dessas perturbações sobre os resultados, e que podem ser complementados por meio de outras iniciativas. Concluída essa atividade, resulta um modelo ajustado de ICV que permite representar em um formato matricial as operações em regime permanente da instalação. Esse formato é mostrado na Equação 3:

$$P = \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

Na Equação 3, (P) é o resultado de um ICV, no qual (A) é a Matriz Tecnológica, onde cada elemento ($a_{i,j}$) representa uma entrada ou saída tecnológica, e (B) é a Matriz Intervenções Ambientais, na qual cada elemento ($b_{i,j}$) representa uma saída para o meio ambiente.

Desenvolvendo a Equação 3 com a introdução de um vetor demanda final (\vec{f}), que representa o valor de um elemento de produção sobre o qual se busca avaliar o impacto ambiental, é possível se calcular um vetor intervenções ambientais (\vec{g}), que descreve o total das intervenções sobre o meio ambiente produzidos pelo sistema de produto, resultando na Equação 4, proposta por Suh *et al* (2005):

$$\vec{g} = B \cdot A^{-1} \cdot \vec{f} \quad (4)$$

Considerando a Equação 4, Heijungs, Suh (2002) e Wang *et al* (2014) discutem a introdução de perturbações controladas em um ICV sobre os diferentes elementos das matrizes (A) ou (B), por meio da introdução de um (∂) associado a um ou mais elementos ($a_{i,j}$) ou ($b_{i,j}$), resultando em ($a_{i,j} \pm \partial a_{i,j}$) ou ($b_{i,j} \pm \partial b_{i,j}$), o que modifica a(s) Matriz(es) (A) ou (B), resultando em um novo valor para o vetor \vec{g} .

A comparação entre os valores originais de (\vec{g}) e o novo valor obtido permite identificar a sensibilidade daquela categoria de impacto ambiental em relação a perturbação introduzida (HEIJUNGS; SUH, 2002; WANG *et al*, 2014).

Recuperando a Equação 2, que reproduzimos na sequência;

$$I_j = \sum_i M_i * fc_{ij} \quad (2)$$

Torna-se possível estabelecer o relacionamento entre uma quantidade mássica (M_i), que representa a contribuição de um processo a um fluxo elementar de uma substância (i) a um fator de caracterização (fc_{ij}), associado a uma categoria de impacto (j), que pode ser específica a uma metodologia de avaliação. O impacto (I_j) resultante traduz efeito da introdução dessa carga sobre o meio ambiente dentro da estrutura do mecanismo ambiental de interesse.

1.1.6 Sistemas de avaliação de impacto ambiental

Para atender a crescente complexidade dos sistemas tecnológicos analisados por meio da ACV, estão disponíveis diferentes ferramentas especializadas.

Dentre essas, destaca-se o *GaBi Education*, que permite a modelagem e avaliação de sistemas de produtos. Desenvolvido pela *PE International*, o software é atualmente mantido e distribuído por *Thinkstep – Sustainability Consulting and Software* (HERRMANN; MOLTESEN, 2015).

O software *GaBi* é uma ferramenta que apresenta recursos versáteis, como a possibilidade da utilização de parâmetros para otimização de cálculos em diferentes instâncias (processos locais e globais), e alternativas para a construção de equações que operam sobre os dados do inventário, recuperando parâmetros e ajustando os resultados das análises de AICV. O acionamento dessas equações pode ser realizado sob controle do analista, permitindo assim

a introdução controlada de perturbações em fluxos, sem alterar os dados originais que sustentam os resultados da análise em regime permanente.

Ainda, o software apresenta ferramentas desenvolvidas para análise de sensibilidade (Monte Carlo), análise de cenários, além de um banco de dados de avaliação de impacto com dados que suportam várias metodologias de avaliação de impacto do ciclo de vida, entre outros recursos.

O software *Gabi Education* comporta diferentes bancos de dados de avaliação de impacto do ciclo de vida, sendo que destacamos o CML 2001 e ReCiPe.

O método CML 2001 (Jan. 2016) foi desenvolvido por *Center of Environmental Science of Leiden University* (Holanda). Apresenta um conjunto de fatores de caracterização para a avaliação do impacto do ciclo de vida, agrupados em um contexto de *midpoint*, com uma modelagem quantitativa que busca restringir o efeito de incertezas. As categorias de impacto de CML 2001 (Jan. 2016) expressam emissões para o meio ambiente ou no uso de recursos, permitindo estabelecer um valor para cada unidade de impacto ambiental e comparar os resultados de diferentes categorias entre si (GABATHULER, 1997; VINODH et al, JOY, 2012).

De acordo com Goedkoop *et al* (2013), ReCiPe é um método de avaliação de impacto do ciclo de vida que fornece fatores de caracterização harmonizados entre impactos intermediários e finais. Apresenta um conjunto de categorias de impacto *midpoint*, cujos resultados são ajustados e agregados em outras categorias *endpoint*, a saber: danos a saúde humana, à diversidade dos ecossistemas e a disponibilidade de recursos.

Para essa agregação, ReCiPe considera diferentes abordagens culturais, como a Individualista (*I*), que reflete aspectos e interesses em períodos de 100 anos ou menos, tratando somente impactos comprovados da introdução de determinadas substâncias no meio ambiente, e adotando uma visão otimista do desenvolvimento tecnológico em apoio a adaptação humana as mudanças. A abordagem Hierarquica (*H*) reflete interesses de médio prazo, 100 anos ou mais, tratando da introdução de substâncias sobre as quais ainda não existe um consenso quanto aos seus impactos, e finalmente a abordagem Igualitária (*E*), que considera períodos ainda mais longos, tratando de impactos ainda não totalmente estabelecidos, sobre os quais existe apenas uma indicação das consequências da introdução de determinadas substâncias.

1.1.6.1 Relacionamento entre CML e ReCiPe

Ainda de Goedkoop *et al* (2013), temos que a metodologia de avaliação *midpoint* CML pode relacionar-se matematicamente com a metodologia de avaliação *endpoint* ReCiPe. Esse relacionamento pode ser realizado por meio de fatores de conversão aplicados na Equação 5, proposta por Huijbregts *et al* 2(017):

$$FC_{e_{i,c,a}} = FC_{m_{i,c}} \times FC_{m \rightarrow e_{c,a}} \quad (5)$$

Na Equação 5, temos que FC_e é o fator de caracterização *endpoint*, que resulta da ponderação entre $FC_{m_{i,c}}$, que é o fator de caracterização *midpoint* de uma substância i em relação a perspectiva cultural c , e $FC_{m \rightarrow e}$ é o fator de conversão de *midpoint* para *endpoint*, considerando a perspectiva cultural c e a área de proteção a .

Como exemplo, a Tabela 1 traz os fatores de caracterização utilizados para a conversão da categoria de impacto PAG para Mudanças Climáticas.

Tabela 1: Fatores de caracterização para conversão de *midpoint* para *endpoint*

Categoria de impacto <i>midpoint</i>	Fator de conversão de <i>midpoint</i> para <i>endpoint</i>			
	Perspectiva cultural	Mudanças Climáticas		
Potencial de Aquecimento Global		Danos a saúde humana (HH) (DALY)	Danos a diversidade de ecossistemas (ED – espécies/ano)	Conservação de recursos (RC)
kgCO ₂ eq	<i>Individualista (I)</i>	1,19 x 10 ⁻⁶	8,76 x 10 ⁻⁶	0
	<i>Hierárquica (H)</i>	1,40 x 10 ⁻⁶		
	<i>Igualitária (E)</i>	3,51 x 10 ⁻⁶	1,88 x 10 ⁻⁶	

Fonte: Goedkoop *et al* (2013) (Adaptado)

A metodologia de avaliação ReCiPe traz seus resultados para as categorias de impacto *endpoint* em unidades DALY (*Disability Adjusted Life Years*), ED (*Ecosystem Damage*), e RC (*Resource Conservation*).

A unidade DALY é uma ferramenta desenvolvida por Murray e Lopez (1996) para a Organização Mundial de Saúde (OMS), e que permite ponderar comparativamente o número e duração de doenças e a quantidade de anos de vida por morte prematura devido aos impactos ambientais. Já a unidade ED é utilizada para avaliar a qualidade de ecossistemas, considerando como medida a porcentagem de espécies que estão ameaçadas em uma

determinada área por ano, e a unidade RC mede a disponibilidade de recursos em uma determinada área por unidade de tempo (ARPORNPOONG *et al*, 2015; PIERAGOSTINI *et al*, 2014).

1.1.7 Iniciativas para introdução de gestão de risco em ACV

A preocupação com a integração entre a Avaliação do Ciclo de Vida e a Gestão de Risco está presente em todas as discussões sobre segurança e qualidade ambiental, desenvolvimento de políticas e mitigação de impactos ambientais, constituindo-se ainda em um desafio. A evolução do tema tem acompanhado o desenvolvimento de novas técnicas e abordagens. Inicialmente o tema era tratado a partir da harmonização entre as metodologias de avaliação de impacto (AICV) com necessidades específicas da análise e avaliação de risco, como colocado por Assies (1998), em sua proposta de integração entre ACV e AR.

Heijungs e Suh (2002) introduziram uma nova possibilidade de integração, a partir da introdução controlada de perturbações em inventários de dados, dando novo impulso ao tema. Em 2015 Fang e Heijungs (2015) avançaram detalhando mais profundamente esse processo, agora associado aos fatores de caracterização. Nas Tabelas 2, 3 e 4, trazemos algumas iniciativas de integração entre ACV e risco, descrito na Tabela como AR – análise e avaliação de riscos. Quando oportuno, outras terminologias são empregadas e esclarecidas:

Tabela 2: Proposta de integração entre ACV e Gestão de Risco (continua)

Autor(es)/Data	Discussão
(KHAN; SADIQ; HUSAIN, 2002)	É apresentada a metodologia GreePro-I, desenvolvida com o propósito de auxiliar aos tomadores de decisão nos processos iniciais de tomada de decisão sobre custos, viabilidade e impactos ambientais do desenvolvimento de novos produtos.
(SCHOECH; BETZ, 2001)	O processo de Gestão de Riscos é considerado como essencial nas definições das estratégias corporativas, em consonância com outros, como a ACV. A utilização da ACV na gestão estratégica de riscos começa com a identificação de riscos com base em fluxos de matéria e energia, e a aplicação da AR permite identificar a relevância do risco de fluxo de substâncias para o produto e para a empresa. A combinação da perspectiva ambiental da ACV com modelos econômicos como a análise de portfólio, por outro lado, oferece uma nova abordagem interdisciplinar. Destaca-se que assim se torna possível às empresas lidarem com os mercados altamente dinâmicos e complexos do futuro.

Tabela 3: Proposta de integração entre ACV e Gestão de Risco (continua)

Autor(es)/Data	Discussão
(MATTHEWS; LAVE; MACLEAN, 2002)	Embora não propondo solução de integração, os autores, partindo de uma discussão sobre os impactos quantitativos e qualitativos ao meio ambiente produzidos pelas descargas ambientais, destacam que a AR, embora adequada para a caracterização de um risco à saúde pela exposição a um agente tóxico, não é capaz de tratar as implicações políticas decorrentes. Uma estrutura mais ampla, como a ACV, é necessária para se encontrar a alternativa mais adequada que provavelmente reduzirá um risco sem criar novos impactos em outros espaços. Os autores concluem que os analistas de risco devem buscar na ACV o entendimento das consequências dos impactos na formulação de políticas, enquanto a ACV precisa da ajuda da AR para ir além de suposições simplistas sobre as implicações de impacto. Concluem afirmando que as duas disciplinas estão intimamente conectadas, uma vez que cada uma delas tem muito a contribuir para a outra.
(SONNEMANN, AUTHORS GUIDO; CASTELLS; SCHUHMACHER, 2004)	Os autores apresentam uma proposta bastante completa de integração entre a ferramenta de Avaliação de Risco Ambiental com ACV, em uma abordagem que permite estimar impactos crônicos e transientes. O modelo desenvolvido é aplicado a uma usina de incineração de resíduos municipal localizada em Tarragona, na Catalunha, mostrando assim o potencial da proposta. Os impactos decorrentes são monetizados.
(NISHIOKA <i>et al</i> , 2005)	Uma modelagem que incorpora a variabilidade regional, conforme tratada por AR, e no tratamento de emissões e exposições humanas em uma abordagem de insumo/produto de ACV, é apresentada. O método estrutura-se em cálculos de risco ao longo do rastreamento de um produto e na estimativa de exposição de uma população.
(SHIH; MA, 2011)	A metodologia de <i>Life Cycle Thinking</i> é integrada com a AR, resultando em método que permite avaliar riscos em uma perspectiva de ciclo de vida de políticas envolvidas no reaproveitamento de cinzas resultantes da queima de resíduos urbanos. Destacam que o método foi útil na definição de cenários de menor risco para os trabalhadores e população, identificando as principais fontes contaminantes, receptores e vias de exposição ao longo do ciclo de vida das atividades de reutilização das cinzas, seja por inalação ou contato dérmico.
(GRIEGER <i>et al</i> , 2012)	São discutidos os avanços na integração entre ACV e AR especificamente na área de nano materiais. Reconhecendo a complementaridade entre ACV e AR, os autores destacam que foram identificados na literatura apenas três métodos que combinam as metodologias destacadas e com foco em nano materiais. Como os métodos encontrados tem base em pesquisas envolvendo produtos químicos tradicionais, verificaram lacunas no conhecimento necessário na avaliação das consequências ambientais e riscos de nano materiais, recomendam maiores estudos para a área de nano materiais.

Tabela 4: Proposta de integração entre ACV e Gestão de Risco (conclusão)

Autor(es)/Data	Discussão
(BARBERIO <i>et al</i> , 2014)	Desenvolvida para apoiar a sustentabilidade de tecnologias emergentes, focando na saúde e segurança de trabalhadores, os autores combinam as metodologias de ACV e da AR. Na atividade, os autores buscaram utilizar o potencial da ACV para identificar processos com melhor desempenho ambiental e da AR para a seleção dos cenários de maior risco aos trabalhadores. A aplicação da técnica desenvolvida em cenários de produção de alumina nano fluída permitiu destacar <i>trade-off</i> entre os resultados da ACV e AR. Concluem que embora os métodos tenham objetivos diferentes, têm um papel complementar na descrição dos impactos de produtos, substâncias e tecnologias.
(WALSER <i>et al</i> , 2014)	Trabalho desenvolvido especificamente para avaliar os impactos produzidos sobre a saúde humana e o meio ambiente pela presença de tolueno. Os autores destacam que enquanto a RA trabalha com níveis de limiar, ACV assume que cada emissão tóxica provoca uma mudança incremental no impacto total. O método combinado entre ACV e AR fornece informações para a avaliação combinada de todos os aspectos relativos a contaminação pelo elemento químico analisado.
(HARDER <i>et al</i> , 2015)	Os autores promovem extensa análise de 30 estudos de caso focados na avaliação ambiental da emissão de poluentes e patógenos, que propuseram alguma forma de integração, combinação, hibridização ou uso complementar entre ACV e AR, recuperados a partir do ano de 2002. Os autores destacam a existência, ainda, de dificuldades no uso mais rigoroso das terminologias específicas de cada método, como risco, unidade funcional, entre outras. Comentam ainda que o uso complementar de AR e ACV oferecem oportunidades para adaptar estudos de caso de avaliação ambiental a um contexto específico de tomada de decisões
(MILAZZO; SPINA, 2015)	Discute-se uma proposta de integração entre ACV e AR (avaliação de risco) com o objetivo de quantificar impactos da produção de biodiesel de soja sobre a saúde humana. A integração entre os diferentes métodos permitiu definir um indicador de ciclo de vida mais amplo, acomodando o foco local/regional da AR na abordagem holística da ACV. Sobre esse tema, os autores concluem que os métodos podem ser relacionados entre si.
(LINKOV <i>et al</i> , 2017)	Os autores comentam que embora as iniciativas para a integração entre a Gestão de Riscos e a ACV tenham sido uma característica consistente na pesquisa ambiental nos últimos anos, as dificuldades nessa atividade parecem recomendar a sua aplicação em paralelo, analisando-se seus resultados em conjunto, como uma forma mais pragmática para a orientação aos tomadores de decisão.
(LIN; YU; MA, 2018)	O trabalho desenvolvido pelos autores concentra-se na análise da deterioração de bacias hidrográficas na presença de poluentes químicos. ACV é integrada a avaliação de riscos associada a poluentes específicos, com auxílio de ferramentas de SIG. A dimensão espacial é incorporada na AICV por meio do desenvolvimento de fator de caracterização específico para o poluente de interesse, permitindo assim se obter um resultado geograficamente integrado. A ferramenta destina-se a auxiliar os tomadores de decisão na seleção de opções de mitigação de impactos.

1.2 Gestão de riscos

Ao longo do tempo, os sistemas industriais estão sujeitos à ocorrência de acidentes em seus processos que podem causar danos a pessoas, ao meio ambiente ou ao contexto econômico. Segundo Aven (2016), Cavalieri e Ghislandi (2010), esses acidentes podem provocar impactos de diferentes intensidades, de uma quase-falha, sem maiores consequências, até as proporções de um desastre ou acidente maior. Embora acidentes maiores possam ser considerados como raros, podem ser inerentes à atividade industrial, dada a complexidade dos processos e tecnologias operando em conjunto nas indústrias. Identificar as falhas e situações que podem provocar esses eventos pode ser uma atividade complexa, já que as relações de causa-efeito que os causam muitas vezes apresentam-se de forma ambígua e incerta, exigindo atividades específicas para a sua identificação, para a determinação de suas possíveis consequências e formas de prevenção e controle.

Cabe a Gestão de Riscos – GR fornecer uma estrutura que permita identificar com completeza e exatidão as situações que possam causar danos a propriedades, pessoas ou ao meio ambiente; a probabilidade e a gravidade dessas ocorrências. A GR deve ainda auxiliar o processo decisório na proposição e seleção de medidas para a redução dos impactos (AIRMIC, 2002; AVEN, 2011). Embora apresente um objetivo específico, GR compreende um conjunto variado de atividades, técnicas e termos que podem produzir controvérsias quanto a sua aplicação ou significado.

Ao longo do tempo, a GR desenvolveu-se e especializou-se em diferentes campos de aplicação, como (i) a avaliação de riscos tecnológicos, com ampla gama de aplicações em plantas industriais; (ii) a avaliação de riscos ambientais, preocupada com a introdução continuada ou em doses de compostos químicos e suas consequências para a vida e a estabilidade dos ecossistemas; (iii) a avaliação de riscos sociopolíticos, que busca responder aos desafios da mitigação do terrorismo e do crime organizado, do surgimento de grupos e/ou tendências políticas, entre outras (AVEN, 2013; DI NICOLA *et al.*; 2006). A terminologia empregada em GR na literatura não está totalmente estabelecida.

Na Tabela 5 temos as definições mais comuns para diversos temas recorrentes em estudos de GR:

Tabela 5: Algumas definições para os termos perigo e risco

Perigo	Risco	Origem
Propriedade de uma substância ou situação física com potencial de produzir danos à saúde humana ou ao meio ambiente.	Probabilidade e consequências produzidas por um determinado perigo.	EC - JRC
Fonte de risco na qual as consequências potenciais estão relacionadas ao dano	Efeito das incertezas sobre os objetivos de uma organização	ISO
Potencial para causar dano	Probabilidade de efeitos adversos a um ou mais agentes ambientais	EPA (considerando a saúde humana)
Evento físico natural ou induzido pelo homem com potencial de causar perda de vida, ferimentos ou outros impactos à saúde, bem como danos e perda de propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, prestação de serviços e recursos ambientais.	Função da probabilidade e magnitude de diferentes impactos.	IPCC (considerando um contexto ambiental)

Fonte: Brandsæter (2002); Cox; Thompson (2015); Scheer *et al* (2014)

Para este trabalho, assume-se a definição de Perigo e Risco propostos por EC-JRC, por sua abrangência. Na Tabela 6, trazemos outras definições de interesse:

Tabela 6: Definição adotada para os termos dano, vulnerabilidade e resiliência.

Termo	Definição
Dano	Medida dos impactos, diretos ou indiretos, produzidos por um perigo.
Vulnerabilidade	Características em um sistema que possam permitir a ocorrência de um funcionamento imprevisto, causando danos diversos.
Resiliência	Capacidade de um sistema em absorver e/ou recuperar-se de um impacto, voltando a uma situação de equilíbrio pré-evento

Fonte: (MODICA; ZOBOLI, 2016; NIRUPAMA, 2012; SCHEER *et al* (2014).

Tratando de riscos tecnológicos em uma indústria, os processos, tecnologias, insumos e demais variáveis de um processo industrial devem ser rigorosamente monitorados e gerenciados, no sentido de se garantir que as operações ocorram dentro dos parâmetros de segurança definidos para cada uma de suas etapas. Todo desvio dentro dos parâmetros esperados, independente de sua frequência, deve ser analisado e suas causas identificadas e corrigidas, pois podem conduzir a uma situação que configure em um acidente maior (ISLAM *et al*, 2017). Pelo potencial de prejuízo que representam, os riscos tecnológicos devem ser gerenciados, compartilhados, transferidos ou aceitos e nunca ignorados (TAROUN, 2014).

Para Hollnagel (2008), a natureza dos riscos é dinâmica: as condições que podem conduzir a um acidente se modificam no tempo como consequência da mudança de comportamentos, tecnologias, insumos, variações ambientais, entre outras. Da mesma forma, a percepção da dimensão de suas consequências também se altera, podendo tornar crítico um desvio antes considerado tolerável.

A definição de uma equação que traduza o termo risco é controversa. Diversos autores estabelecem a forma da Equação 6 e como a sua representação canônica (AVEN, 2012b, 2016; NIRUPAMA, 2012; TAROUN, 2014):

$$R = f(P, I) \text{ (6)}$$

Na Equação 6, o risco (R) é função da ponderação entre a probabilidade (P) de um evento transiente e de seu impacto estimado (I). Em um contexto industrial, um risco pode ainda estar associado a diferentes cenários (C_n), representando assim a multiplicidade de situações que podem ser encontradas em um único sistema. Considerando esses múltiplos cenários, o risco pode ser representado na forma da Equação 7:

$$R = f(C_n, P, I) \text{ (7)}$$

Na Equação 7, o risco é definido para cada cenário específico, sendo o risco total da instalação a ponderação do risco associado a cada cenário (CETESB, 2014). Na Figura 3 destaca-se um framework para a Gestão de Riscos:

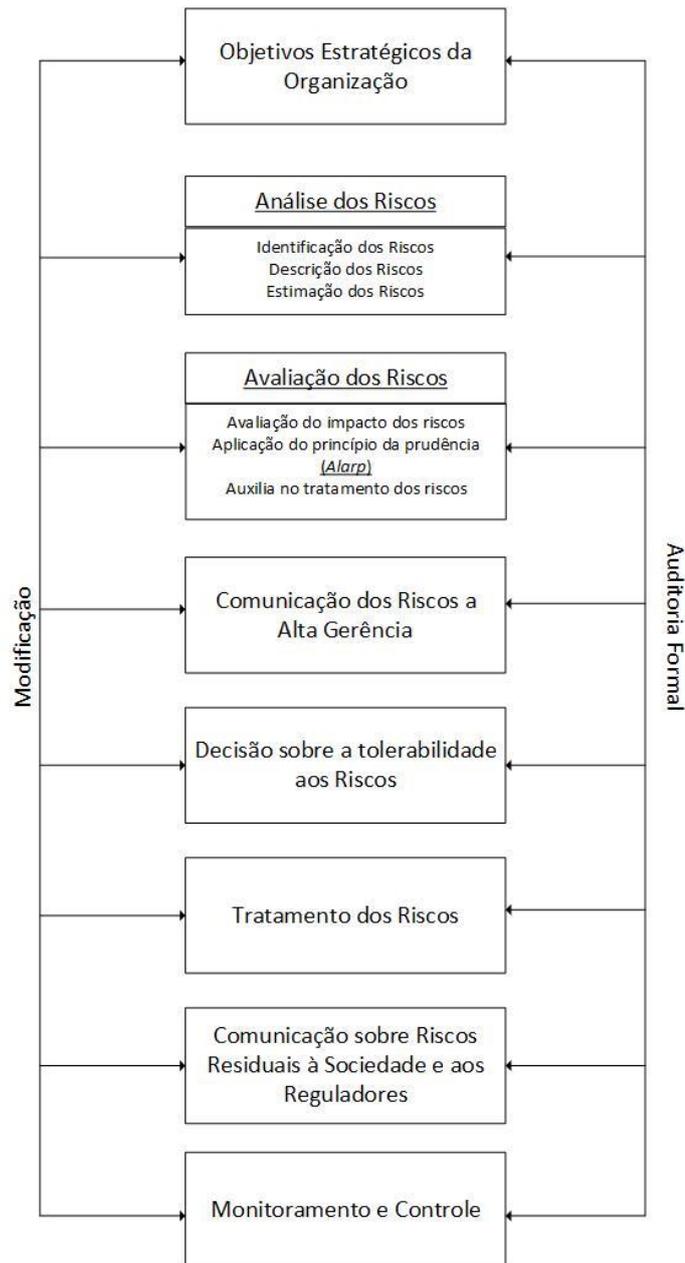


Figura 3: Processo da Gestão de Riscos.

Fonte: Wieczorek-Kosmala (2011) (Adaptado).

Nirupama (2012), Tixier *et al* (2002) e Wieczorek-Kosmala (2011) descrevem o processo da GR, que se inicia a partir da identificação dos objetivos estratégicos da empresa, das características do mercado na qual está inserida, cadeias de fornecimento, entre outros aspectos ligados a sua presença no segmento econômico de atuação. Em seguida, é detalhado o seu contexto técnico, com a identificação das tecnologias, processos, insumos, e todos os demais aspectos envolvidos nas atividades de produção. Do conjunto de atividades mostradas na Figura 3, especial atenção é dedicada as etapas de Análise e de Avaliação dos Riscos.

1.2.1 *Análise dos riscos*

Nesta etapa se busca compreender a natureza dos riscos, com a sua identificação e descrição. A identificação de perigos que ameaçam a instalação é pré-requisito para a Análise de Risco. Embora essencial para o levantamento dos problemas da instalação que podem desencadear eventos transientes, essa atividade não é normalmente incluída na Análise de Risco, sendo tratada como um elemento adicional ao processo (AVEN, 2012a).

1.2.1.1 Identificação de perigos

A identificação de perigos ou de ameaças tem como função tradicional reconhecer, avaliar e mitigar circunstâncias que possam provocar danos a integridade e saúde de pessoas, prejudicar o meio ambiente ou causar perdas econômicas. Dentro da Gestão de Riscos, permite identificar e classificar os possíveis cenários transientes críticos, avaliando preliminarmente seus impactos e chances de ocorrência (IBARRA-HERNÁNDEZ *et al*, 2015).

Para Felegeanu *et al.* (2013), essa atividade depende da capacidade da empresa em armazenar, prospectar e recuperar informações históricas próprias ou de terceiros sobre situação em atividades semelhantes àquelas em que atua e que deram causa a acidentes. Esse levantamento compreende planos, diagramas, descrição de entornos, instalações, fluxos de processos, barreiras de segurança, depósitos, entre outros.

Além dos perigos identificados com base em levantamentos históricos, a atividade inclui o exercício da previsão de situações novas ou imprevistas, que possam revelar novas ameaças. O resultado de todo o levantamento deve permitir a construção de cenários factíveis ou mesmo incríveis, identificando possíveis causas, localização, consequências e todas as demais informações relevantes identificadas ou projetadas. Situações de falhas, condições ou eventos iniciadores para cada cenário são destacadas. A Figura 4 descreve as entradas e saídas da Identificação de Perigos:

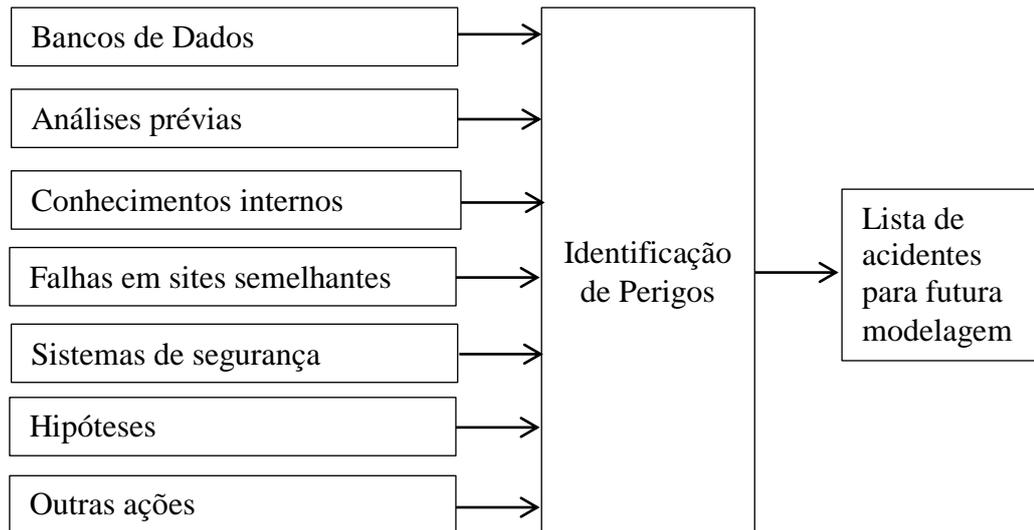


Figura 4: Processo para identificação de perigos

Fonte: Brandsæter (2002) (Adaptado)

Ao longo da atividade, alguns perigos podem ser descartados se estiverem relacionados a instalações ou situações não cobertos pelo estudo; ou se apresentarem consequências que seguramente não ameacem o contexto de interesse; ou ainda se a probabilidade de ocorrência da causa raiz é considerada remota demais (por exemplo, eventos sísmicos em regiões consideradas seguras). Em qualquer das hipóteses, as causas do abandono do estudo devem ser criteriosamente documentadas e justificadas por premissas conservadoras (BRANDSÆTER, 2002; SELIGMANN *et al*, 2012).

Uma vez identificados todos os perigos de interesse, cada um deles é descrito e seus impactos estimados dentro dos critérios da Análise de Risco. Os relacionamentos entre os diferentes perigos são estudados e documentados (Airmic, 2002; Chemweno *et al*, 2015; *The Royal Society*, 1992).

A etapa de identificação dos riscos estabelece que cada cenário acidental previamente definido deve ser profundamente analisado e as situações (modos de falha – atuando isoladamente ou em combinação) que possam provocar o evento de interesse devem ser identificadas.

Na descrição dos riscos, todos os elementos já levantados devem ser documentados em um formato definido, onde cada risco e seus respectivos modos de falha são mostrados de forma a que se assegure o entendimento da abrangência, transparência e profundidade do processo utilizado para a identificação. Outras informações compõem esse documento, como

o escopo do risco, com uma descrição qualitativa do evento; o tipo de risco, as perdas e consequências potenciais, as responsabilidades envolvidas, entre outras.

Todas as informações coletadas até este momento subsidiam a etapa de estimativos dos riscos, que compreende a atividade de identificação das probabilidades da ocorrência de cada evento. Essa estimativa pode ser quantitativa, semi-quantitativa ou qualitativa, expressando seus resultados em uma forma que possa permitir uma adequada compreensão.

1.2.2 Avaliação dos riscos

Uma vez concluída a atividade da Análise do Risco, as consequências estimadas para cada risco são confrontadas com os critérios de tolerabilidade estabelecidos pela organização, como forma de se discutir a sua aceitação ou grau de rejeição. A transferência de um risco por meio da aplicação de um seguro pode ser também avaliada. Este estudo permite a organização decidir sobre a significância dos riscos e de como cada risco deve ser tratado.

Na aplicação do critério de tolerabilidade, os riscos são classificados, por exemplo, como: (i) inaceitáveis, implicando na mudança de tecnologia, processo ou no abandono do projeto; (ii) graves, mas passíveis de aceitação sob rigoroso controle e monitoramento; e (iii) toleráveis, já que os impactos e probabilidades estimados não implicam em danos que justifiquem maior preocupação. Independentemente da classificação, todos os riscos devem ser rigorosamente monitorados e controlados, para que as circunstâncias que lhes dão origem não evoluam para condições de maior criticidade (AIRMIC, 2002; BRANDSÆTER, 2002).

Os resultados obtidos até a avaliação de riscos são disponibilizados para a gestão da organização, a quem cabe a palavra final sobre ações a serem adotadas, com base nas conclusões e recomendações do estudo. Definida uma linha de ação, são implantadas as medidas propostas, que podem incluir ações visando implementar barreiras protetivas por meio de novas tecnologias, melhoria em processos, maior treinamento, menor periodicidade em rotinas de monitoramento, entre outras.

1.2.3 Demais atividades da gestão de riscos

Wieczorek-Kosmala (2011) destaca ainda as atividades de Comunicação, as informações sobre riscos residuais, as medidas de controle e rotinas de monitoramento são comunicadas à sociedade e aos órgãos reguladores em formato adequado que permita o claro entendimento das ações. Implementa-se a sequência o Monitoramento e Controle das

atividades rotineiras. Esse monitoramento passa a produzir informações sobre o comportamento dos sistemas de interesse no tempo, sendo base para a identificação de desvios. Rotineiramente, relatórios são produzidos e distribuídos aos gestores e órgãos de controle, informando das medidas adotadas para a garantir o alinhamento das instalações aos objetivos de segurança previstos.

1.2.4 Princípio da precaução e ALARP

Base da discussão sobre a tolerabilidade aos riscos discutida na etapa de Avaliação dos Riscos, é a aplicação do critério *Alarp* (“*As Low As Reasonably Practicable*”), técnica construída a partir de valores que suportam a proteção a vida, ao meio ambiente e a viabilidade econômica dos empreendimentos. Baseia-se na estimativa dos impactos (consequências) de eventos associados à atividade industrial, mesmo quando algumas relações de causa e efeito não estejam totalmente estabelecidas (HAWTHORNE, 2007). O critério *Alarp* surgiu a partir da dificuldade no esgotamento dos riscos de um empreendimento.

O critério se vale do conceito de “tolerabilidade ao risco”, e se utiliza do “princípio da precaução”, significando, em princípio, que “as consequências de um risco devem ser insignificantes em relação aos benefícios da atividade que lhe deu causa”, sendo amplamente utilizado em processos de tomada de decisão (ALE *et al*, 2015; GUIKEMA *et al*, 2010; JONES-LEE *et al*, 2011).

Graficamente, *Alarp* pode ser representado na forma da Figura 5:

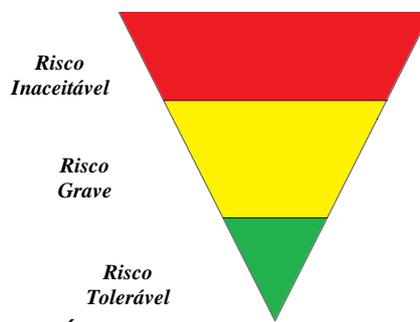


Figura 5: Estrutura conceitual de ALARP.

Fonte: Baybutt (2013) (Adaptado).

Descreve-se cada uma das regiões destacadas na Figura 5 na Tabela 7, a seguir.

Tabela 7: Espaço para decisão na análise do potencial de danos.

Região	Definição
Riscos inaceitáveis	Um limite superior a partir do qual os riscos são considerados como inaceitáveis ou intoleráveis pela sociedade, independentemente dos benefícios que possam ser usufruídos pela operação do sistema que lhes deu causa. Devem ser reduzidos a níveis aceitáveis, ou, na impossibilidade, a atividade que deu origem deve ser interrompida ou substituída
Riscos graves, mas toleráveis se monitorados e controlados	Os riscos entre o limite superior e inferior são considerados como sendo toleráveis, que são aqueles que a sociedade aceita, em troca de certos benefícios oferecidos pela operação do sistema que lhes deu causa. Não são riscos considerados como negligenciáveis e não devem ser ignorados, devendo ser gerenciados, periodicamente revisitados e reduzidos para um nível tão baixo quanto razoavelmente praticável. Estão compreendidos no contexto do “apetite ao risco”.
Riscos aceitáveis	São aqueles que podem ser considerados negligenciáveis e/ou amplamente controlados, não requerendo qualquer ação significativa para se efetuar a sua redução.

Fonte: Spancold *et al* (2012) e Baybutt (2013) (Adaptado).

Baybutt (2013) e Jones-Lee *et al* (2011) destacam que *Alarp* se vale dos princípios e estruturas fundamentais de uma análise de custo-benefício para avaliar e auxiliar na decisão sobre a instalação ou não de um processo, considerando os custos de um programa de segurança. Não trata incertezas ou a forma de como essa atua sobre a magnitude e natureza dos riscos, apenas busca mover o nível do risco manifesto em direção a um patamar a partir do qual novas reduções são desproporcionais em relação aos custos.

Considerando a definição canônica do risco, *Alarp* é traduzido para a prática por meio da Matriz Impacto *versus* Probabilidade; conforme mostra a Figura 6:

Matriz Impacto <i>vs</i> Probabilidade					
Processo de interesse	Probabilidade				
Impacto	Extremamente remota	Remota	Pouco provável	Provável	Frequente
Desprezível					
Marginal					
Moderada					
Crítica					
Catastrófica					

Figura 6: Matriz Impacto *versus* Probabilidade

A Matriz Impacto *versus* Probabilidade busca evidenciar a relevância do risco envolvido em cada um dos cenários transientes. Para isso, a magnitude dos impactos e probabilidades são convertidos em expressões verbais únicas e distribuídos para cada cenário

nas respectivas áreas: verde, indicando risco tolerável, amarela, para riscos graves e vermelha, para riscos inaceitáveis. Os riscos inaceitáveis devem obrigatoriamente ser reduzidos a um nível mais adequado, ou na impossibilidade, a atividade sob risco descontinuada. Os riscos graves, principalmente, e mesmo os toleráveis, devem ser rigorosamente monitorados para que suas condições não evoluam para uma situação de maior gravidade.

1.2.5 Cálculo da probabilidade de um acidente

Nivolianitou (*et al.*, 2004) e Tixier *et al.* (2002) destacam que a seleção da técnica mais adequada para a estimativa da probabilidade de ocorrência de um acidente deve atender aos objetivos estratégicos da empresa e observar a quantidade, qualidade e disponibilidade de recursos disponíveis; a criticidade dos processos, o alcance esperado pelo estudo; as normas de compliance vigentes; as práticas de mercado entre outros requisitos. Eventualmente, mais de uma técnica pode ser escolhida e empregada. Desta forma, o(s) método(s) deve(m) fornecer resultados que permitam ampliar o entendimento da natureza dos riscos e soluções, sendo ainda rastreável, repetível e verificável. As principais técnicas existentes podem ser assim agrupadas:

Métodos determinísticos: mais simples, mas, em situações em que incertezas epistêmicas coexistem em um mesmo problema, não fornecem resultados precisos (HE *et al.*, 2015); e

Métodos probabilísticos: exigem dados relevantes e abundantes para serem exequíveis, o que nem sempre é prático em termos econômicos ou de tempo. Existem algumas críticas quanto a sua assertividade no tratamento de incertezas epistêmicas, visto que a probabilidade é sempre uma medida do grau de crença sobre um tema, conforme destacado por Aven (2016), Flage *et al.* (2014) e He *et al.* (2015), sendo que esses métodos ainda podem enfrentar resistências em situações em que múltiplos gestores não concordarem com os valores de probabilidade encontrados (SHORTRIDGE *et al.*, 2017).

De interesse deste trabalho, introduz-se o método Árvore de Falhas – FTA (*Fault Tree Analysis*), uma das principais técnicas empregadas na estimativa de probabilidades em indústrias onde a confiabilidade de sistemas e estruturas é fundamental (NÝVLT, 2015; WAGHMODE *et al.*, 2016).

Para Chemweno *et al.* (2015), Ruijters *et al* (2015) e Waghmode *et al* (2016), a FTA baseia-se na construção de um diagrama lógico, ou árvore de falhas. A construção da árvore ocorre por meio de um processo dedutivo que parte de um evento indesejado (evento topo), que é definido considerando-se a condição ou estado em que um sistema apresenta um comportamento imprevisto, que pode ser extremo, quando da ocorrência de uma ou mais diferentes condições. Devem ser considerados procedimentos, influências externas e internas, critérios de obsolescência e limites operacionais, entre outros. Todo esse contexto descreve a(s) possível(is) causa(s) (modos de falhas) de um evento topo. O método investiga as sucessivas combinações de irregularidades até atingir as falhas básicas (eventos básicos), que se constituem no limite de resolução do problema.

Fórmulas de redução booleana podem ser empregadas para operar o modelo matemático da FTA. De acordo com Vesely *et al* (1981), nessa mecânica os valores de probabilidades são assumidos e relacionados em portões ditos *E* e *OU*. Sejam dois eventos independentes *A* e *B*:

Um portão *OU* indica que o evento desencadeado pelas falhas representadas pelos eventos *A* e *B* somente ocorre se o evento *A*, ou o evento *B*, ocorrerem de forma independente. Esse portão é representado pela formulação da álgebra booleana, conforme Equação 8:

$$(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (8)$$

Na qual $P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$, e que $P(A \cap B) \cong 0$, quando *A* e *B* são valores próximos a zero. Em um portão *E* o evento desencadeado pelas falhas representadas pelos eventos *A* e *B* somente ocorrerão se os eventos *A* e *B* acontecerem de forma simultânea. A Equação 9 traz a representação para um portão *E* na álgebra booleana:

$$(A \cap B) = P(A) \times P(B) \quad (9)$$

Portões *E* e *OU* podem ser combinados para traduzir a complexidade dos diferentes modos de falha. Na Tabela 8 são mostrados alguns dos símbolos mais comuns utilizados na construção gráfica de uma árvore de falhas:

Tabela 8: Alguns símbolos básicos utilizados na construção de uma Árvore de Falhas

Símbolo	Evento representado	Descrição
	Porta lógica “OU”	O evento saída ocorre se pelo menos um evento básico ocorrer
	Porta lógica “E”	O evento saída ocorre se todos os eventos básicos ocorrerem
	Evento básico	Acontecimento ou falha inicial que origina um evento topo
	Evento Topo	Evento indesejado e pré-definido cuja causa raiz se busca conhecer
	Evento não desenvolvido ou a desenvolver	Evento para o qual ainda não existem informações suficientes, ou de pequena importância para a análise.

1.3 Análise de cenários

Cairns *et al* (2015) destacam que a Análise de Cenários é utilizada para discutir situações complexas, de ausência de dados, elevada incerteza, tempo e recursos limitados. Sua aplicação motiva maior discussão com possíveis eventos e suas consequências, em diferentes cursos de ação. Trata-se de método largamente utilizado para endereçar incertezas sobre o futuro no planejamento empresarial.

A técnica procura descrever uma situação e suas variáveis mais importantes em um momento específico do tempo ou prever uma situação no tempo pela evolução dos parâmetros atuais em direção a um ou mais futuros. Considera a definição das circunstâncias, os caminhos possíveis e as incertezas envolvidas no caminho escolhido e na expectativa de futuro desejado. De acordo com Jarke *et al* (1998), Liu; Yu, (2004) e Pesonen *et al* (2000), a Análise de Cenários procura responder as seguintes perguntas:

O que vai acontecer (cenários preditivos);

O que pode acontecer (cenários exploratórios); e,

Como pode ser alcançado um objetivo específico (cenários normativos).

A análise e avaliação de riscos se vale da técnica do estudo de cenários na tentativa de responder as questões colocadas. Em qualquer dos casos, incertezas críticas e eventos que possam alterar a cadeia de casualidades que conduzem ao objetivo desejado devem ser identificados e relatórios que suportem as hipóteses devem ser formalizados.

Diversos riscos podem coexistir em um mesmo contexto, causados por diferentes perigos. Nesta situação, para se atingir um menor risco total, a análise de cenários contribui com o desenvolvimento de um estudo para cada cenário (perigo) identificado, até que todos cenários, observada a combinação entre eles, estejam adequados aos objetivos pretendidos. O risco total de um empreendimento tem caráter cumulativo e advém do somatório dos riscos de cada cenário acidental (CETESB, 2014). A equação de risco pode ser reescrita na forma da Equação 10:

$$R_t = \sum_{i=1}^n (C_n, P_n, I_n) \text{ (10)}$$

Na Equação 10, (R_t) representa o risco total de um sistema, resultado da ponderação das probabilidades e impactos associados a cada um dos cenários (C_n) estudados.

2 METODOLOGIA PROPOSTA – ACVR

Apresenta-se agora a metodologia ACVR – Avaliação do Ciclo de Vida e Risco, que integra técnicas da Gestão de Riscos na Avaliação do Ciclo de Vida. O processo de aplicação da ACVR observa as seguintes etapas:

- Caracterização do sistema tecnológico, permitindo assim a estimativa das emissões produzidas por sua operação em regime permanente;
- Levantamento dos perigos associados ao sistema tecnológico, com a definição dos principais cenários acidentais, suas possíveis causas, chances de ocorrência, danos potenciais, entre outros parâmetros que permitam identificar aqueles que serão aprofundados por meio da ACVR;
- Análise e discussão dos impactos crônicos e transientes observados a partir da aplicação do método proposto, com foco em impactos ambientais intermediários (orientação ao problema) e finais (orientação ao dano); e;
- Identificação de outros impactos, tangíveis e intangíveis, associados aos eventos transientes. O cálculo das probabilidades envolvidas é realizado, estimando-se o nível de risco para cada cenário transiente.

ACVR dedica-se ao estudo de processos operando em regime permanente, ou em processos contínuos, dentro dos quais observa-se uniformidade de insumos e processos. Não aborda processamentos por batelada, que podem apresentar grande variedade de misturas a cada carga processada. Os impactos ambientais produzidos pelos eventos transientes são calculados a partir das mesmas categorias de impacto e metodologias de avaliação adotadas para a avaliação da operação em regime permanente. Com isso, confere-se maior qualidade a essa informação, que normalmente na avaliação de riscos tecnológicos é estimada sem a utilização de recursos da qualidade da ACV. O cálculo das probabilidades integra-se a esse cenário, na medida em que o conhecimento dessa informação auxilia no entendimento da possibilidade da concretização desse prejuízo no tempo. Finalmente, a estimativa de risco amplia esse entendimento.

A ACVR é construída observando as diretrizes teóricas discutidas no Capítulo 1.

Para que os objetivos pretendidos sejam alcançados, na Figura 7 é mostrada um modelo esquemático para a ACVR, em uma abordagem ampla e que procura detalhar as suas diferentes características.

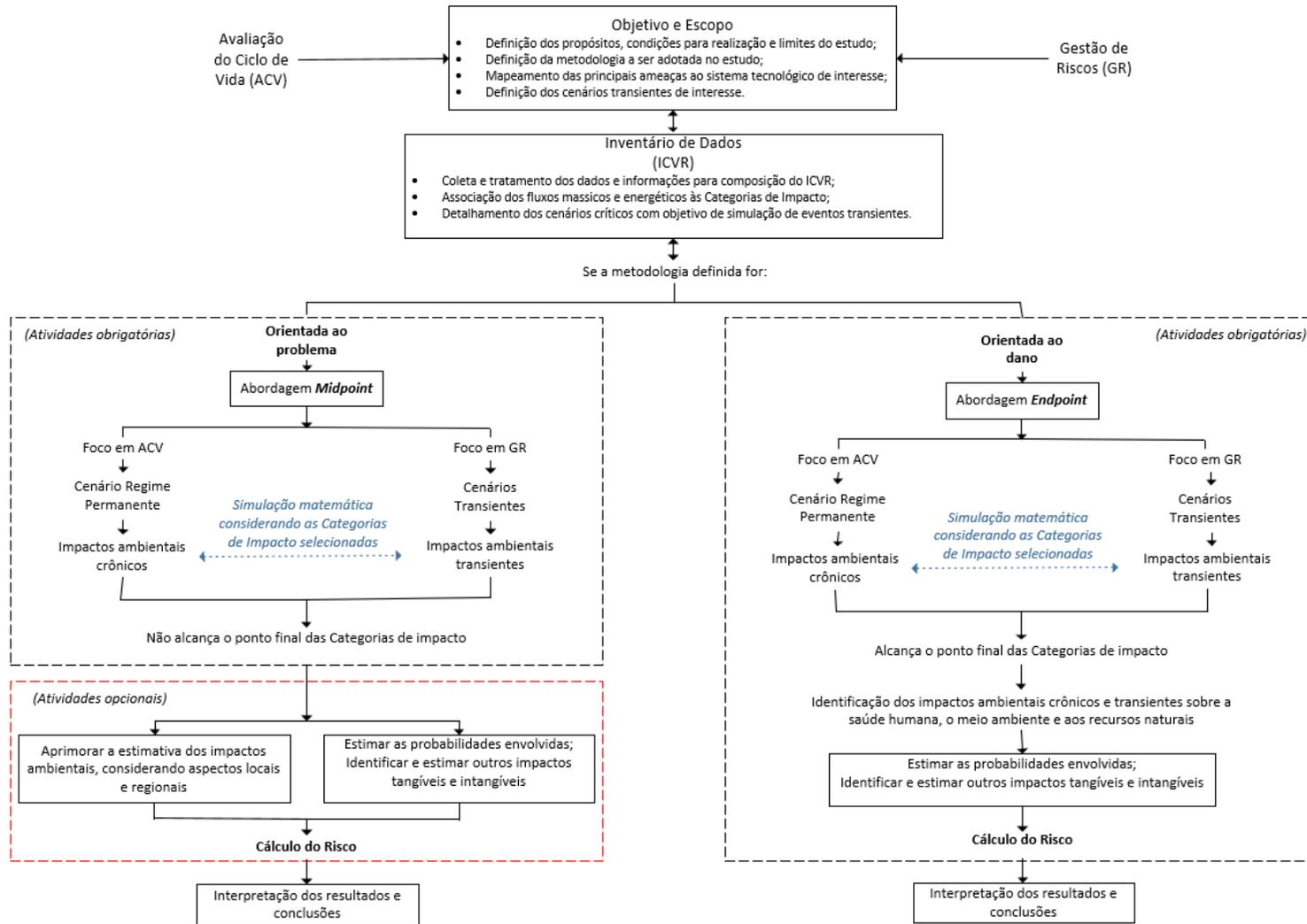


Figura 7: Modelo esquemático de ACVR, destacando o relacionamento do processo com a metodologia de avaliação adotada.

Para orientar a discussão, apresenta-se na Figura 8 uma estrutura metodológica em que as principais atividades da GR se distribuem nas diferentes etapas de ACV. A estrutura proposta para a ACVR dentro dessa visão é evidenciada também na Figura 8:

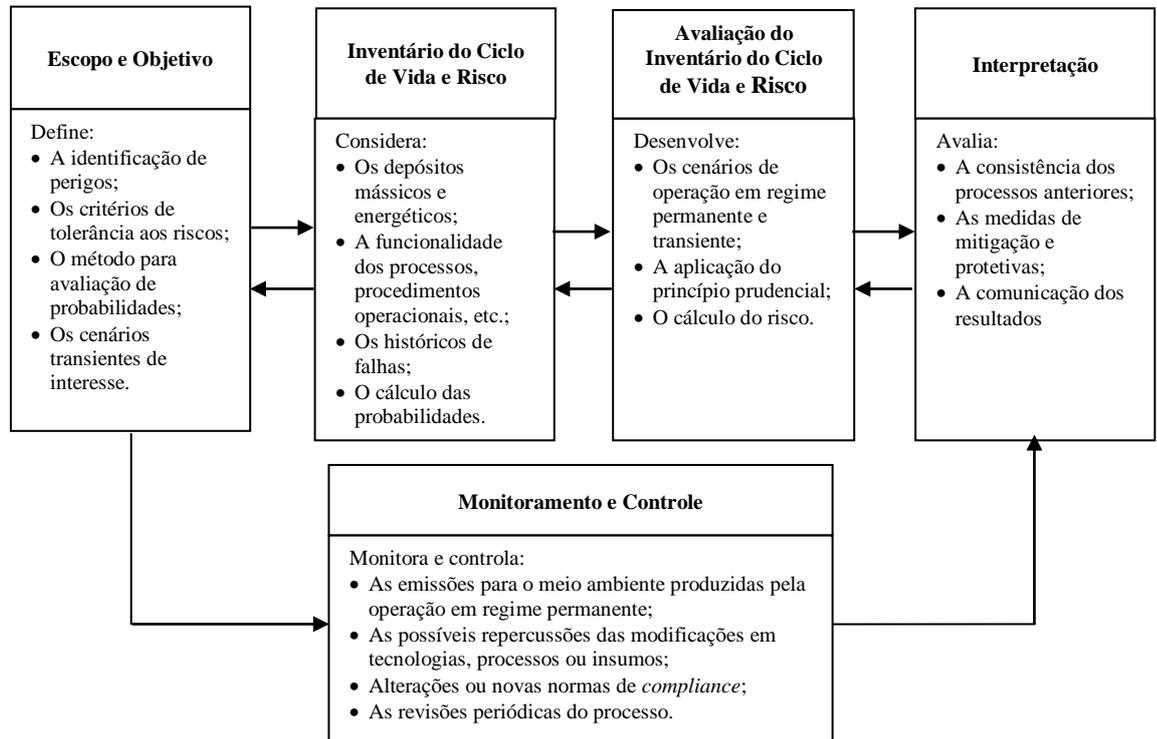


Figura 8: ACVR – Incorporação em ACV de técnicas de Gestão de Risco

A partir da Figura 8, são detalhadas as principais alterações introduzidas em cada uma das etapas da ACV, sem prejuízo as suas atividades tradicionais:

2.1 Escopo e Objetivo

Na discussão do escopo, requisito central em ACVR é a seleção da metodologia de avaliação, conforme evidenciado na Figura 7, uma vez que essa seleção irá orientar a abordagem do problema – se voltado ao problema (impactos intermediários, ou abordagem *midpoint*) ou ao dano (consequências finais, ou abordagem *endpoint*), e o alcance dos resultados. Uma abordagem orientada ao dano permite que seja estimado o nível de risco associado ao cenário transiente de interesse.

Porem, as metodologias *endpoint* apresentam resultados de elevada incerteza. Já as metodologias *midpoint* apresentam resultados mais robustos, distribuídos por uma gama de categorias de impacto que contribuem para a redução da ambiguidade na estimativa das consequências e danos. Assim, uma combinação de metodologias *midpoint* e *endpoint* pode

ser recomendável para fornecer resultados que permitam um melhor entendimento dos impactos produzidos, tanto para o cenário de operação em regime permanente, como para os cenários transientes de interesse, desde que utilizadas dentro de um mesmo estudo e considerando a mesma categoria de impacto, conforme apontado por Bare *et al* (2000).

Como exemplo, se selecionada metodologia *midpoint* e a categoria de impacto PAG, temos resultados em kgCO₂eq (dados quantitativos), indicador de categoria robusto, amplamente conhecido e aceito tanto pela comunidade científica como pela sociedade em geral. Mas esse indicador não detalha os efeitos dessa quantificação em termos de danos para a vida, ao meio ambiente ou para a economia. Já uma metodologia de avaliação *endpoint* para a categoria de impacto Mudanças Climáticas considera o mecanismo ambiental até as suas consequências finais, agregando diversas categorias de impacto e expressando na forma de unidades DALY os efeitos daquela quantificação para a saúde humana. Dentro dessa linha de raciocínio, para a avaliação de impactos ambientais em ACVR, é recomendado o emprego combinado das metodologias *midpoint* e *endpoint*.

ACVR orienta a realização, em Escopo e Objetivo, do Mapeamento de Perigos, essencial para a construção dos cenários transientes de interesse. Essa atividade inicia-se com a identificação e classificação de todas as ameaças internas e externas a que o sistema tecnológico está sujeito, por meio de diferentes técnicas e mapas. Citamos como exemplo a Planilha para Identificação de Perigos, mostrada na Figura 9:

Planilha para Identificação de Perigos							
Documento	Perigo	Pontos de destaque	Causa	Consequência	Proteções existentes	Recomendações	Hipótese acidental
Relacionar plantas, fluxogramas, manuais, procedimentos operacionais padrão, fotos, desenhos, resultados de medição, e outros documentos do contexto em análise	Identificar situações que possam representar ameaça à vida humana, ao meio ambiente ou as instalações, reconhecendo as fronteiras do elemento analisado, seu estado físico, condições operacionais, ameaças internas e externas, procedimentos de manutenção e rotinas de treinamento dos funcionários encarregados da operação.	Destacar todos os pontos que merecem destaque durante a análise, seja pelo aspecto positivo, como pelo aspecto negativo.	Informar às causas que mereceram destaque positivo ou negativo, com particular ênfase para aqueles que possam se constituir em ameaça ao próprio segmento analisado ou que possa vir a ameaçar elementos subsequentes ou anteriores.	Informar como as tipologias acidentais que serão estudadas na etapa de estimativa (impactos) dos efeitos físicos, na ocorrência de cada um dos eventos acidentais.	Relacionar todas as barreiras para mitigação da frequência ou a consequência de impactos. Devem ser mencionadas rotinas operacionais de manutenção ou inspeções preventivas de segurança, periodicidades, responsabilidades, alcance e capacidade de resposta.	Elaborar proposta de dispositivos ou processos de atenuação da frequência ou consequência de impactos.	Elaborar planilha exclusiva para cada hipótese acidental. Existindo necessidade, mais de uma folha pode ser preenchida para cada uma, e se necessário, diferentes hipóteses acidentais podem ser relacionadas entre si dentro da instalação.

Figura 9: Planilha para identificação de perigos

Fonte: CETESB (2014) (Adaptado)

Para o preenchimento da Planilha para Identificação de Perigos, são levantados todos os documentos, plantas, mapas, medições, históricos de falhas, depoimentos e informações da literatura, entre outros insumos, que permitam identificar aqueles processos e situações que possam apresentar condições que permitam a ocorrência de eventos transientes. Para cada uma das situações, são estudadas as condições iniciadoras, suas consequências (ainda que em caráter precário), possíveis medidas protetivas e medidas para a sua implementação, entre outros aspectos.

O Mapeamento de Perigos pode ser retomado a qualquer tempo, na medida que novas informações permitirem melhorar a análise e avaliação das situações já identificadas, ou no surgimento de novas ameaças. Para melhor entendimento desse mapeamento, apresentamos na Tabela 9 exemplos de algumas ameaças internas e externas comuns a muitas plantas tecnológicas:

Tabela 9: Exemplos de ameaças internas e externas presentes em plantas industriais

Ameaças Internas	Ameaças externas
Processos que apresentam maior volume ou periculosidade de matérias ou energias que possam causar danos em caso de liberação ao meio ambiente, como o armazenamento de materiais combustíveis, inflamáveis, tóxicos, físséis, entre outros.	Eventos climáticos extremos ou inesperados
Processos com maior concentração de tecnologias complexas, de difícil operação	Ação de elementos externos a organização e que tenham como objetivo provocar danos à instalação
Componentes ou conjuntos de componentes cuja operação é indispensável para o perfeito funcionamento da instalação, como sensores e outros instrumentos de acompanhamento	Recebimento de insumos inadequados que possam causar falhas
Barreiras e processos de mitigação sujeitos a falhas, como estruturas de contenção, filtros, entre outros	
Processos que manipulam matéria e energia em condições críticas de temperaturas, pressões, misturas tóxicas, como reatores, caldeiras, fornos, etc	Não recebimento de insumo essencial a estabilidade de processo crítico
Erros operacionais, intencionais ou não, que possam levar a ocorrência de eventos transientes	

A partir da identificação das principais ameaças, são construídos cenários transientes e classificados, do maior potencial de dano para o menor. Dessa relação são definidos aqueles de interesse para o estudo e que serão aprofundados.

Considerando ainda a recursividade do método, premissas podem ser incluídas ou excluídas da etapa Escopo e Objetivo, sempre que identificada essa necessidade. Nesta situação, as etapas subsequentes da ACVR devem ser reexaminadas e/ou ajustada.

2.2 Inventário do Ciclo de Vida e Risco

O mapeamento de processos e atividades iniciado na etapa de Objetivo e Escopo é ampliado para contemplar todos os processos elementares contidos na fronteira do sistema tecnológico. Os fluxos mássicos e energéticos são identificados e mapeados, eventualmente por meio de medições, que podem ser únicas ou repetidas, de forma a se obter um valor médio que melhor represente aquela operação.

A qualidade dos dados e informações que irão compor o ICVR é fundamental para a construção do ICVR, como forma de permitir que sejam alcançados resultados consistentes. Tanto a ACV como a GR recomendam diversas ações para o refinamento de dados e informações, estando este tema em permanente discussão entre os especialistas nos dois assuntos. Contudo, ACV e GR não apresentam uma orientação comum. Assim, apresentamos no Anexo 2 – Estimativa de incertezas do tipo A e B e Matriz Pedigree, algumas orientações que podem contribuir neste sentido.

Uma vez obtidos os valores para os fluxos mássicos e energéticos associados aos processos elementares e ajustados de acordo com a Unidade Funcional escolhida, é construído o cenário para a operação em regime permanente. Se necessário, procedimentos de alocação, agregação e outros podem ser realizados. Ao cenário relativo à operação em regime permanente denomina-se de cenário padrão.

O mapeamento de perigos é retomado, procedendo-se ao seu refinamento, uma vez que ao longo do ICVR novos processos ou depósitos críticos podem ter sido identificados. Concluída a definição dos cenários transientes que serão estudados, e por serem cenários preditivos, adota-se como padrão estimar o alcance máximo das consequências dos eventos transientes (pior cenário).

Adicionamento, como um cenário exploratório, estuda-se como os impactos variam na medida da alteração das quantidades mássicas ou energéticas que dão origem a esses fenômenos. Como um cenário normativo, são estudadas quais medidas podem ser tomadas para prevenir o evento transiente, ou que possam minimizar as consequências.

Concluída a atividade de definição/entendimento dos diversos cenários, são projetados os mecanismos que permitem simular cada situação a partir do cenário padrão (operação em regime permanente). A partir de recursos oferecidos por ferramentas especializadas, são modeladas equações e parâmetros que simulem a introdução de perturbações (∂) em valores mássicos ou energéticos em fluxos específicos dos processos de interesse. Esse processo é detalhado em 2.1.5 INTRODUÇÃO DE PERTURBAÇÕES EM ACV

Variando-se o valor da perturbação pode-se estudar diferentes cenários, frente a medidas protetivas ou mitigatórias, procurando-se o ponto de equilíbrio entre as ameaças e os benefícios da manutenção daquele processo em operação.

É importante destacar que em um cenário transiente simulado perde-se o vínculo com a Unidade Funcional, uma vez que os valores informados deixam de observar aquela ponderação. Assim, os resultados obtidos somente podem ser utilizados para analisar os impactos produzidos para aquele cenário transiente e dentro daquelas condições.

Aspecto importante abordado por ACVR é o tratamento de massas armazenadas em depósitos abertos ao meio ambiente. Nestas situações, ACV define que o cálculo dos impactos é estimado a partir dos fluxos de massa de entrada e saída. Quando são estudadas as emissões por kg de massa, e o volume mássico do fluxo elementar menor, ou até mesmo significativamente menor que o volume total armazenado, pode-se ter situações em que o impacto produzido pelo fluxo elementar não reflita as emissões produzidas por todo o volume armazenado.

Estando presente esta situação, ACVR recomenda considerar todo o volume armazenado, e não apenas a massa representada pelo fluxo elementar. De forma idêntica, também neste caso perde-se o vínculo com a unidade funcional.

2.3 Avaliação do do Inventário do Ciclo de Vida e Risco

Na Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida e Risco – AICVR, realiza-se a associação dos dados do inventário com categorias específicas de impacto ambiental e a metodologia de avaliação (*midpoint* – orientada ao problema, ou *endpoint* – orientada ao dano) selecionada. Essa análise é realizada primeiramente para o cenário padrão, referente a operação em regime permanente, e em seguida são estudados os demais cenários nos quais são introduzidas perturbações em fluxos.

As demais atividades da ACV para esta etapa, como classificação, caracterização, normalização, entre outras, são realizadas na medida da sua necessidade. Ao final desse processo, tem-se o impacto ambiental relativo a cada categoria de impacto associado ao cenário padrão e aos demais cenários transientes. Exemplificando a discussão apresentando na Figura 10 uma modelagem baseada nas categorias de impacto PAG (abordagem *midpoint*, CML 2001, Jan 2016) e Mudanças Climáticas (abordagem *endpoint*, ReCiPe 1.08), mostrando os impactos intermediários e finais:

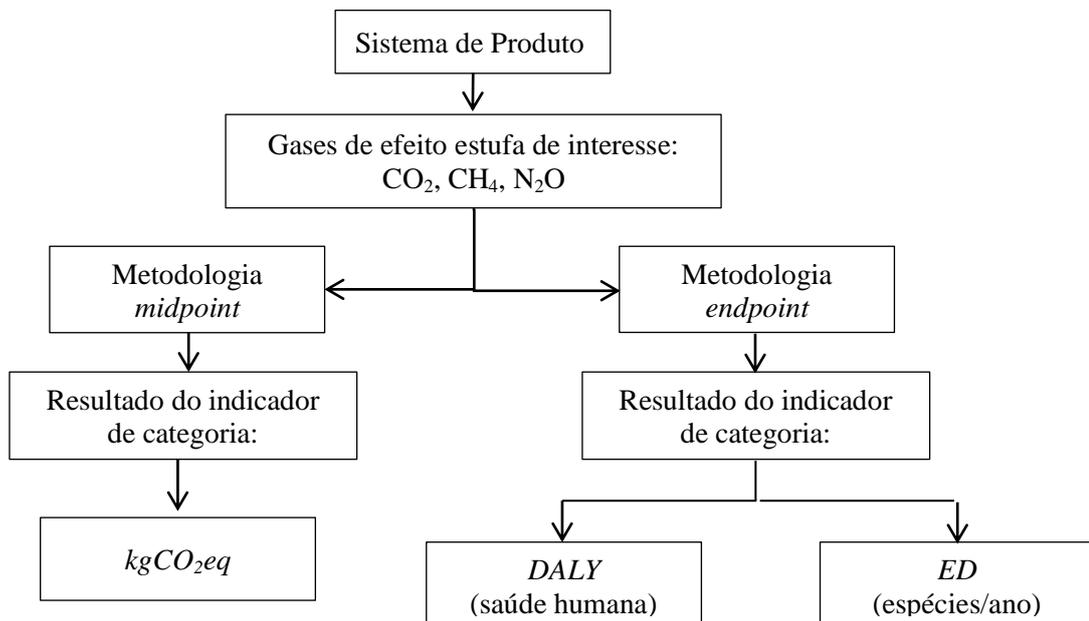


Figura 10: Indicadores de categoria para metodologias *midpoint* e *endpoint*

As Tabelas 10 e 11 detalham o modelo apresentado na Figura 10:

Tabela 10: Detalhamento da abordagem *Midpoint* para os GEE de interesse

Gas de efeito estufa de interesse	Abordagem orientada ao problema (<i>Midpoint</i>)			Descrição
	Resultado do Indicador de Categoria	Fator de caracterização	Metodologia	
CO ₂	KgCO ₂ eq	1	CML 2001	Medida em watts do forçamento radioativo infravermelho produzido por 1 kg de CO ₂ em uma área de 1 m ²
CH ₄		28		
N ₂ O		256		

Fonte: Goedkoop *et al* (2013) (Adaptado)

Tabela 11: Detalhamento da abordagem *Endpoint* para os GEE de interesse

Gas de efeito estufa de interesse	Abordagem orientada ao dano (<i>Endpoint</i>)			Descrição
	Resultado do Indicador de Categoria	Fator de caracterização	Metodologia	
CO ₂	DALY	1,4 x 10 ⁻⁶	ReCiPe 1.08 (Perspectiva cultural <i>Hierarquica</i>)	Aumento de doenças como malária, diarreia, desnutrição e desastres naturais provocados pelo aumento da temperatura global
CH ₄				
N ₂ O				

Fonte: Goedkoop *et al* (2013) (Adaptado)

2.3.1 Atribuição de um nível de risco para eventos transientes

A atribuição de um valor de risco para um evento transiente exige que sejam identificados outros impactos que não os ambientais relacionados ao evento transiente, o cálculo das probabilidades associadas ao evento; e o entendimento do apetite ao risco da organização.

Para o levantamento de outros impactos tangíveis e intangíveis, Spancold *et al* (2012) orienta utilizar a Matriz de Consequência, mostrada na Figura 11, abaixo:

Matriz de Consequência		
Impactos		
	Tangíveis	Intangíveis
Diretos	Detalhamento de impactos mensuráveis em caso de acidente, como a possível perda de infraestrutura e capacidade produtiva, custos de recuperação, entre outros.	Detalhamento de impactos possíveis, porém de mensuração mais complexa, como a possibilidade da ocorrência de fatalidades, lesões, contaminações ou doenças de diferentes gravidades, perda definitiva ou temporária rendimento; custos de cominações legais que podem ocorrer por descumprimento de norma ou regulamento, indenizações, seguros, entre outros.
Indiretos	Custos de recuperação da infraestrutura destruída, aperfeiçoamento em treinamentos, modificações em processos e tecnologias, não atendimento a clientes, entre outros.	Danos a imagem da empresa, perda de confiança de fornecedores e clientes, auditorias e inquéritos que levam a atrasos na recuperação da produção, responsabilização civil e/ou penal, entre outras.

Figura 11: Matriz de Consequências para mensuração de impactos tangíveis e intangíveis

Fonte: Spancold *et al* (2012) (Adaptado)

No escopo deve ser destacada a profundidade dos levantamentos necessários para a identificação dessas consequências.

Já a definição do método de cálculo da probabilidade dos eventos transientes, realizada na etapa de Escopo e Objetivo, é aqui confirmada, a vista da quantidade e qualidade dos dados disponíveis, concluindo-se pela utilização de método determinístico ou probabilístico.

A seleção do método esta condicionada ao grau de incerteza desejado nos resultados, a complexidade do processo de aplicação e a disponibilidade de dados e informações. Nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 tem-se uma relação das principais técnicas:

Tabela 12: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (continua)

Tipo de método: Análise de Cenários					
Nome do Método	Análise de Cenários (<i>Scenario Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Cenários futuros são identificados pela imaginação ou extrapolação dos riscos atuais e diferentes, presumindo-se que cada um desses cenários possa ocorrer. Essa atividade pode ser formal ou informal, qualitativa ou quantitativamente	Determinístico	Médio	Alto	Média
Dados de entrada	Objetivos de longo prazo, perspectivas de mudanças de tecnologias, políticas, mercados, produtos, meio-ambiente, sociedade, e construção de indicadores para acompanhamento das modificações previstas.				
Dados de saída	Percepção das opções e alternativas para modificações dos cursos de ação escolhidos conforme alteração em indicadores previamente escolhidos				
Nome do Método	FTA - Análise de Árvore de Falhas (<i>Fault Tree Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Técnica que se inicia com o evento indesejado (evento topo) e determina todas as formas em que ele pode ocorrer. Estes são apresentados graficamente em um diagrama lógico de árvore. Desenvolvida a árvore de falhas, estudos podem ser conduzidos para redução ou eliminação das causas/fontes potenciais de ameaças.	Determinístico / Probabilística	Alto	Alto	Média
Dados de entrada	Planos ou diagramas do site, instalações, unidades, redes de fluidos e gases, barreiras de segurança, depósitos e armazenamento; coleções de tipos de falhas, probabilidades de falhas, frequências, falhas humanas, taxas de falhas, probabilidades de exposição.				
Dados de saída	Listas de erros, listas de riscos estimados, lista de efeitos dominós, listas de causas / conseqüências, causas e danos, lista de atividades em instalações críticas, listas de modos de falhas; listas de eventos iniciadores, lista de locais vulneráveis, lista de pior cenários				
Nome do Método	ETA - Análise de Árvore de Eventos (<i>Event Tree Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Utiliza o raciocínio indutivo para traduzir as probabilidades de diferentes eventos iniciais em resultados possíveis.	Determinístico / Probabilístico	Médio	Médio	Médio
Dados de entrada	Planos ou diagramas do site, instalações, unidades, redes de fluidos e gases, barreiras de segurança, depósitos e armazenamento.				
Dados de saída	Taxas de falhas, níveis de confiabilidade, probabilidades de cenários e danos, frequências de acidentes				
Nome do Método	FMEA – Análise do Modo de Falha (<i>Failure Mode Effect Analysis</i>)	Metodologia	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Técnica que identifica os modos e os mecanismos de falha e seus efeitos	Determinística	Médio	Médio	Médio
Dados de entrada	Planos ou diagramas do site, instalações, unidades, redes de fluidos e gases, barreiras de segurança, depósitos e armazenamento; textos e conhecimentos acumulados, padrões, regulamentos e normas.				
Dados de saída	Ações de gestão, recomendações, modificações, procedimentos de operação				

Tabela 13: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (continua)

Tipo de método: Análise de Cenários					
Nome do Método	FMECA – Análise de Modo de Falha Crítica (<i>Failure Mode Effect Criticality Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Técnica que pode ser atrelada a uma análise FMEA, permite uma análise de criticidade que define a significância de cada modo de falha, qualitativamente, quantitativamente (FMECA) ou semi-qualitativamente. A análise de probabilidade será baseada na probabilidade de que o modo de falha resultará em uma falha do sistema, ou o nível de risco associado com o modo de falha.	Determinística / Probabilística	Médio	Médio	Médio
Dados de entrada	Planos ou diagramas do site, instalações, unidades, redes de fluidos e gases, barreiras de segurança, depósitos e armazenamento; coleções de tipos de falhas, probabilidades de falhas, frequências, falhas humanas, taxas de falhas, probabilidades de exposição; textos e conhecimentos acumulados, padrões, regulamentos e normas				
Dados de saída	Ações de gestão, recomendações, modificações, procedimentos de operação; índice ou nível de risco, severidade/criticidade, índice de possibilidade de incêndio e/ou explosão, índice de vazamentos tóxicos, índice de risco organizacional, classificação por tipo de risco				
Nome do Método	HAZOP – Estudo de Perigos e Operabilidade (<i>Hazard and Operability</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Processo geral de identificação de riscos para definir possíveis desvios do desempenho esperado ou pretendido, baseado em um sistema estruturado em palavras-guia, permitindo também avaliar a criticidade de desvios.	Determinístico.	Médio	Alta	Alta
Dados de entrada	Planos ou diagramas do site, instalações, unidades, redes de fluidos e gases, barreiras de segurança, depósitos e armazenamento; coleções de tipos de falhas, probabilidades de falhas, frequências, falhas humanas, taxas de falhas, probabilidades de exposição; descrição das operações, tarefas, das reações físico-químicas, padrões cinéticos e calorimétricos, condições de operação e funcionamento normais.				
Dados de saída	Ações de gestão, recomendações, modificações, procedimentos de operação; listas de erros, listas de riscos estimados, lista de efeitos dominós, listas de causas / conseqüências, causas e danos, lista de atividades em instalações críticas, listas de modos de falhas				

Tabela 14: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (continua)

Nome do Método	Teoria da Evidência (Evidence Theory)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Processo geral de identificação de riscos para definir possíveis desvios do desempenho esperado ou pretendido, baseado em um sistema estruturado em palavras-guia, permitindo também avaliar a criticidade de desvios.	Determinística / Probabilística	Médio	Média	Média
Dados de entrada	Planos ou diagramas do site, instalações, unidades, redes de fluidos e gases, barreiras de segurança, depósitos e armazenamento; coleções de tipos de falhas, probabilidades de falhas, frequências de falhas humanas, taxas de falhas, probabilidades de exposição; descrição das operações, tarefas, das reações físico-químicas, padrões cinéticos e calorimétricos, condições de operação e funcionamento normais.				
Dados de saída	Ações de gestão, recomendações, modificações, procedimentos de operação; listas de erros, listas de riscos estimados, lista de efeitos dominós, listas de causas / conseqüências, causas e danos, lista de atividades em instalações críticas, listas de modos de falhas				
Tipo de método: Métodos Estatísticos					
Nome do Método	Análise de Markov (<i>Markov Chains</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	A análise de Markov (ou análise de estado espacial) é utilizada na análise de sistemas complexos reparáveis que podem existir em múltiplos estados, incluindo vários estados degradados	Probabilístico	Alto	Baixo	Alto
Dados de entrada	Listagem dos vários estados em que o sistema, subsistema ou componente pode estar (por exemplo: totalmente operacional, parcialmente operacional (estado degradado), em estado de falha, etc), entendimento claro das transições possíveis, taxa de mudança entre os diferentes estados.				
Dados de saída	Probabilidades estimadas para os diferentes estados de falha ou disponibilidade para cada um dos componentes considerados essenciais do sistema.				
Nome do Método	Análise de Monte Carlo (<i>Monte Carlo Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	A simulação de Monte Carlo é utilizada para estabelecer a variação agregada de um sistema resultante das variações no sistema, para um número de entradas, onde cada entrada tem uma distribuição definida e as entradas são relativas aos relacionamentos definidos nos resultados. A análise pode ser utilizada para um modelo específico onde as interações de várias entradas podem ser definidas matematicamente. As entradas podem ser baseadas em uma variedade de tipos de distribuição de acordo com a natureza da incerteza que são destinadas a representar. Para avaliação de riscos, distribuições triangular ou distribuições beta são comumente utilizadas.	Probabilístico	Alto	Baixo	Alto
Dados de entrada	Modelo do sistema e informações sobre o tipo de entradas, fontes de incerteza que devem ser representadas e saídas requeridas. Os dados de entrada, bem como suas incertezas, são representados como variáveis aleatórias cujas distribuições são mais ou menos dispersas de acordo com o nível de incertezas, sendo que distribuições uniformes, triangulares, normais e lognormais são frequentemente utilizadas.				
Dados de saída	Valor único da probabilidade do evento, ou uma distribuição de frequências, ou a identificação das funções que dentro do modelo tem o maior impacto na saída.				

Tabela 15: Métodos para avaliação de probabilidades e risco (conclusão)

Nome do Método	Análise Bayesiana (<i>Bayesian Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Procedimento estatístico que utiliza dados de distribuições anteriores para avaliar a probabilidade do resultado, dependendo da exatidão da distribuição anterior para deduzir um resultado exato. Modelam causa e efeito em uma variedade de domínios para capturar relacionamentos probabilísticos de entradas variáveis derivando um resultado.	Probabilístico	Alto	Baixo	Alto
Dados de entrada	As entradas para uma análise bayesiana são muito semelhantes àquelas utilizadas em Monte Carlo. Para uma rede de Bayes, as seguintes etapas devem ser observadas: definição das variáveis do sistema, definição das ligações causais entre variáveis, especificação das probabilidades condicionais e a priori, adição de evidência a rede, atualização das crenças e extração das crenças a posteriori.				
Dados de saída	Análises de dados para dedução de estimativas de ponto e intervalos de confiança.				
Tipo de método: Avaliação de Controles					
Nome do Método	LOPA – Análise de Camadas de Proteção (<i>Layers of Protection Analysis</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Permite que os controles e sua eficácia sejam avaliados.	Determinístico	Médio	Médio	Médio
Dados de entrada	Informações básicas sobre riscos, perigos, causas e conseqüências, dados sobre controles e ações de monitoramento em uso ou propostos, frequência de eventos causais de causas iniciadoras, probabilidades de falha de camadas de proteção, medidas de conseqüência e definição de risco tolerável.				
Dados de saída	Recomendações para quaisquer controles adicionais e sobre a eficácia desses controles na redução do risco.				
Nome do Método	Análise da Gravata Borboleta (<i>Blow tie</i>)	Abordagem	Recursos	Incerteza	Complexidade
Descrição do Método	Uma forma esquemática simples de descrever e analisar os caminhos de um risco dos perigos até os resultados e a revisão dos controles. Ela pode ser considerada uma combinação lógica de uma árvore de falhas analisando a causa de um evento (representado pelo nó de uma gravata borboleta) e uma árvore de eventos analisado as conseqüências.	Determinístico	Médio	Alto	Médio
Dados de entrada	Compreensão das causas e conseqüências de cada risco e das barreiras de controle para mitigação ou eliminação, ou mesmo estímulo				
Dados de saída	Diagrama mostrando os principais caminhos de risco e barreiras existentes para mitigação ou eliminação das conseqüências indesejadas ou de estímulo ou promoção das conseqüências desejadas				

Fonte: Tixier *et al* (2002); Abdo *et al* (2017) (Adaptado)

O valor do risco está diretamente condicionado a capacidade da empresa em absorver os prejuízos e consequências provocados por um evento transiente, frente aos benefícios auferidos pela manutenção em operação do componente operacional sob ameaça. Para essa avaliação, deve ser empregado o Princípio da Prudência, ou Alarp.

A definição da capacidade da empresa na absorção de impactos é sempre realizada pela alta administração do empreendimento, que concorda ou não com as recomendações do estudo no caso da identificação de risco inaceitável ou grave, dado os custos e dificuldades na adoção de medidas protetivas e de mitigação, substituição de tecnologias, processos ou insumos, ou mesmo de abandono do projeto, no todo ou em parte.

Uma vez estimados os impactos e probabilidades de um evento transiente, o nível de risco pode ser atribuído com a utilização da Matriz Impacto versus Probabilidade; já apresentada anteriormente, em 2.2.3 PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO E ALARP.

2.4 Interpretação

Uma vez concluídos os estudos da AICVR, os resultados obtidos até o momento são consolidados e analisados quanto a sua consistência, validade e aderência aos propósitos definidos nos objetivos do trabalho.

Na Figura 12, descreve-se de forma sucinta a discussão envolvida nesta fase, considerando as conclusões relativas ao ICVR (resultados do Inventário), da identificação dos problemas e/ou dados (resultado do AICVR) e a discussão sobre a aceitação ou não das consequências resultantes:

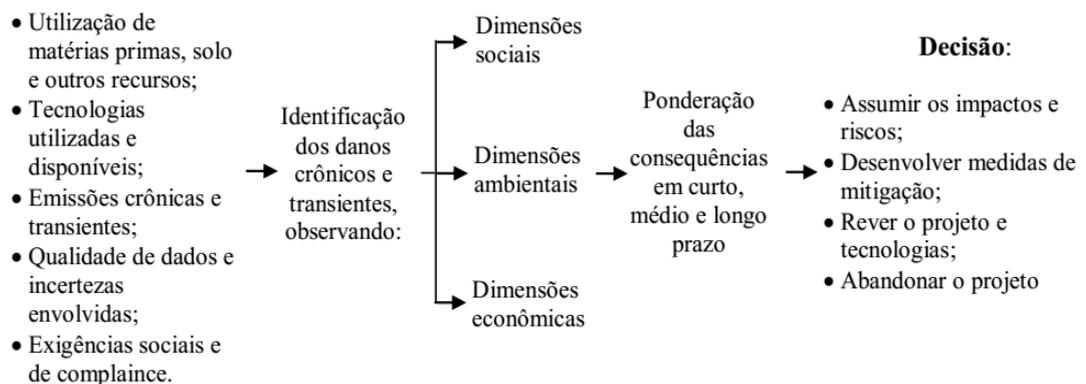


Figura 12 - Discussão e conclusões da etapa de Interpretação referentes a avaliação dos resultados

Havendo ressalva quanto a qualquer aspecto, o estudo é retomado até que o grau desejado de qualidade seja alcançado, quando seus resultados são consolidados na forma de relatórios e documentos que são submetidos a aprovação dos solicitantes do estudo, a quem cabe manifestação e aprovação sobre as providências sugeridas.

2.5 Monitoramento e Controle

Nesta etapa, uma vez finalizada a atividade de implantação das propostas sugeridas pelo estudo, inicia-se um processo rotineiro e periódico de verificação da estrutura, por meio de medições e acompanhamento de atividades visando garantir que as emissões produzidas pela operação em regime permanente e o consumo de recursos estejam dentro de limites aceitáveis, previamente avaliados por ACVR.

Aqueles processos identificados como críticos, ou fontes potenciais para eventos transientes, são monitorados para que suas condições gerais se mantenham em padrões aceitáveis, evitando-se sua deterioração ou a ocorrência de condição que venha desencadear um evento transiente, mantendo-se assim os níveis de risco em padrões adequados.

Rotinas de monitoramento e controle garantem a estabilidade do sistema tecnológico, permitindo sua adequada operação. Permitem ainda medir as repercussões de eventuais modificações em tecnologias, processos e insumos e suas consequências sobre as emissões para o meio ambiente e para o nível de risco da instalação, seja por iniciativa da empresa ou por modificação em normas e regulamentos externos.

2.6 Considerações finais

2.6.1 Utilização do software GaBi Education

Destacamos que o software *GaBi Education* apresenta todas as características necessárias para suportar os propósitos de ACVR, inclusive por comportar metodologias de avaliação midpoint (CML 2001, Jan. 2016) e endpoint (ReCiPe 1.08).

O software permite ainda a introdução de parâmetros globais e locais, e a construção de equações cujo acionamento ocorre por iniciativa do analista, modificando em sua execução os valores anteriormente componente do Cenário Padrão. Desta forma, é possível se simular a ocorrência de acidentes, pela manipulação dos valores dos fluxos mássicos.

2.6.2 Avanços proporcionados por ACVR

Recuperando os comentários sobre as diferentes iniciativas já adotadas para a integração entre ACV e GR, mostradas em 2.1.7 INICIATIVAS PARA INTRODUÇÃO DE GESTÃO DE RISCO EM ACV (Tabela 2), podemos observar que, embora as ferramentas construídas tenham alcançado seus objetivos, não prosperaram como uma solução final ou adequada para a integração das metodologias.

Em nosso entendimento, tal situação se deu em função do desenvolvimento de alternativas focadas em nichos ou segmentos de tecnologia. Em outros casos, as estruturas metodológicas propostas eram complexas, rígidas e pouco flexíveis, limitando a capacidade de adaptação a diferentes situações.

Do conjunto estudado, o modelo desenvolvido por Sonnemann *et al.* (2004) é o que apresenta características mais gerais, embora esteja focado exclusivamente em avaliar impactos ambientais (crônicos e transientes). Também, seus resultados são apresentados na forma de custos, o que dificulta sua adoção, pois é extremamente complexo precificar danos ambientais ou mesmo consequências para a vida humana, implicando em discussões éticas e políticas (AYRES; ROHATGI, 1987).

Desta forma, a metodologia proposta busca avançar sobre essas dificuldades, procurando mostrar-se genérica, avaliando não apenas impactos ambientais crônicos e transientes, mas também agregando outros enfoques, ao admitir a identificação de impactos tangíveis e intangíveis. Os resultados de ACVR são aqueles fornecidos tradicionalmente pelas ferramentas de risco e avaliação ambiental, cabendo aos analistas e a gestão das empresas adotarem as medidas de acordo com o seu apetite ao risco.

Desta forma, entendemos que ACVR traz uma evolução em relação aos métodos já tentados anteriormente, embora ainda não tenha a pretensão de ser a modelagem definitiva e final.

3 ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de averiguar a aplicabilidade de ACVR, a metodologia foi utilizada na avaliação das emissões dos gases de efeito estufa CO₂, N₂O e CH₄ produzidos pela operação em regime permanente da Usina Jalles Machado S.A., localizada na cidade de Goianésia (GO). Os cenários acidentais de interesse consideram vazamentos de 10%, 30% e 100% da vinhaça, principal resíduo químico da produção de etanol, a partir do principal reservatório desse efluente da instalação. No caso de vazamento total, considera-se o rompimento abrupto de barragem de contenção e formação de onda de inundação.

A escolha deste estudo de caso justifica-se a partir da preocupação com a avaliação de impactos socioambientais do setor sucroalcooleiro. Essa preocupação foi internacionalmente reconhecida, com a criação do certificado Bonsucro, específico para o setor sucroenergético. Trata-se de uma métrica global que permite demonstrar por meio de avaliações a sustentabilidade da empresa em práticas sociais e ambientalmente corretas. A obtenção desse certificado permite exportar produtos derivados de cana de açúcar, notadamente o etanol, para países da Ásia e União Européia (BONSUCRO, 2013; CETESB, 2014; CONAMA, 2010; OLIVEIRA, ANA MARIA P. F. et al., 2016).

3.1 Contextualização do estudo

São utilizadas informações obtidas por Vilela (2013), através de entrevistas com especialistas, planilhas e relatórios fornecidos pela usina. Esses resultados permitiram iniciar a modelagem tecnológica do sistema de interesse, complementado por dados secundários obtidos na literatura. No Anexo 1, para a construção do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A., são destacados e justificados as alterações introduzidas no modelo que foi utilizado como base do estudo. Ainda, discute-se a tecnologia de 1ª geração utilizada pela maioria das refinarias produtoras de etanol, de acordo com Nielsen *et al.* (2017), e justificada a escolha da vinhaça como elemento de preocupação no contexto da indústria (NETO, 2005). As diferentes etapas da ACVR são desenvolvidas na sequência

3.2 ACVR: escopo e objetivo

O sistema industrial selecionado para o estudo foi à Usina Jalles Machado S.A., complexo agroindustrial voltado para a produção de açúcar e álcool combustível, focando-se somente a fase industrial do processo, em uma abordagem “*gate-to-gate*”. Assim, não é considerada a fase agrícola do processo de produção e processamento da cana-de-açúcar.

A empresa está localizada no município de Goianésia (GO), Brasil. A Figura 13 destaca uma visão aérea da Usina Jalles Machado S.A. e das características de seu entorno.

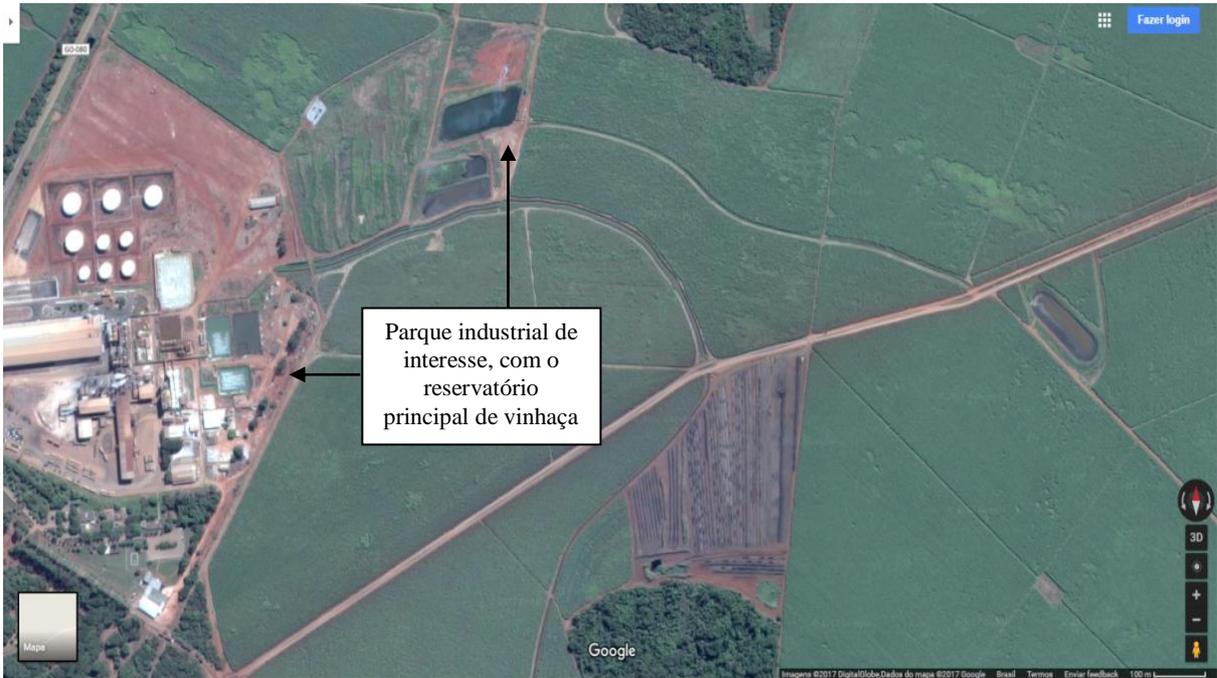


Figura 13: Visão aérea da Usina Jalles Machado S.A.

Google (Adaptado).

Os dados primários utilizados para a construção dos inventários de dados foram obtidos a partir de estudos realizados por Vilela (2013), e complementados quando necessário por meio de buscas realizadas em fontes acreditadas da literatura científica. A análise de fotografias aéreas de alta precisão (*Digital Globe, Google 2018*) permitiu conhecer o espaço geográfico de interesse.

Como função do sistema, temos: “Obtenção de etanol anidro e hidratado para uso como combustível veicular, além de açúcar para exportação”, descrevendo assim o propósito da empresa na visão do estudo. Para a unidade funcional, temos: “1000 kg de cana-de-açúcar colhida e moída para produção de etanol anidro misturado à gasolina (25% v/v na gasolina) destinado à utilização em veículos de passeio de porte médio com consumo de 12 km/ L percorrendo 180 km em rodovia asfaltada”. Esta unidade funcional descreve o parâmetro utilizado para a ponderação das quantidades mássicas informadas ao ICV. É destacado ao longo do estudo algumas situações nas quais a unidade funcional não é aplicável. O software

*GaBi Education*¹, com o banco de dados de inventário *GaBi*, é utilizado para a modelagem do sistema tecnológico e parametrização de eventos transientes de interesse. Para o estudo do impacto ambiental do ponto de vista intermediário, será utilizada a categoria de impacto Potencial de Aquecimento Global (GWP 100 anos), considerando a metodologia midpoint CML 2001 (Jan. 2016). Considerando os impactos finais, é utilizada a categoria de impacto Mudanças Climáticas, a partir da metodologia endpoint ReCiPe 1.08, suportados por *Gabi Education*.

A técnica FTA – Árvore de Falhas, é empregada para a estimativas probabilidades associadas aos cenários transientes, estimando-se as probabilidades de ocorrência para um ano de operação da usina, sendo atribuído um nível de risco para cada evento transiente, a partir do levantamento de outros impactos, tangíveis e intangíveis. Medidas para a mitigação dos impactos são então discutidas.

A Tabela 16 traz algumas fragilidades no contexto tecnológico de refinarias sucroenergéticas e que aplicamos para a instalação de interesse:

Tabela 16: Processos de uma refinaria sucroenergética, vulnerabilidades e possíveis acidentes

Processo	Vulnerabilidade	Possível acidente
Armazenamento de etanol	Grandes estoques, movimentação de veículos, cargas e descargas, erros de processo, obsolescência, eventos climáticos extremos, vandalismo, etc.	Lesão, vazamentos, incêndios, explosão.
Armazenamento de vinhaça	Exposição a eventos climáticos, rompimento de barragem de contenção, <i>overtopping</i> , erros de operação, vandalismo, manipulação de material tóxico, etc.	Lesão, contaminação por contato, vazamentos, inundação.
Caldeiras e turbinas do processo de cogeração	Obsolescência, erros de operação, vandalismo, falha em componente, etc.	Lesões de diferentes gravidades, vazamentos de vapor em alta pressão, explosão.
Armazenamento do bagaço de cana de açúcar	Movimentação de equipamentos pesados, exposição a eventos climáticos, erros de operação, vandalismo, etc.	Lesões, contaminação ambiental, incêndio.
Armazenamento de açúcar	Movimentação de equipamentos pesados, erros de operação, vandalismo, etc.	Lesões, incêndio.

Fonte: (MARIN *et al.*, 2017) (Adaptado)

¹Gabi - Thinkstep, 2016. GaBI Software-System and Database for Life Cycle Engineering - Compilation 7.0.36, (win64), DB Version 6.115. <http://www.gabi-software.com/brazil/databases/gabi-databases/> (accessed on June 12th, 2017)

Para a aplicação de ACVR, é escolhido o processo de armazenamento de vinhaça. A Figura 14 mostra em maiores detalhes o conjunto de depósitos destinadas ao resfriamento e ao armazenamento provisório do efluente, a partir do(s) qual(is) é destinado para a fertirrigação:



Figura 14: Complexo de lagoas e reservatório para resfriamento e armazenamento da vinhaça.

Fonte: Google (Adaptado)

Dado o volume de efluente armazenado, a técnica é aplicada somente sobre o principal reservatório da refinaria, considerando os cenários acidentais já destacados anteriormente. Pesquisas na literatura indicam que para pequenos reservatórios, notadamente em empreendimentos agroindustriais, é comum a utilização de barragens construídas com terra e outros materiais coletados durante o processo de escavação ou nivelamento de áreas afetadas.

A Figura 15 traz esse reservatório, destacando alguns de seus detalhes, e os reservatórios de apoio destinados a regulação do volume armazenado:

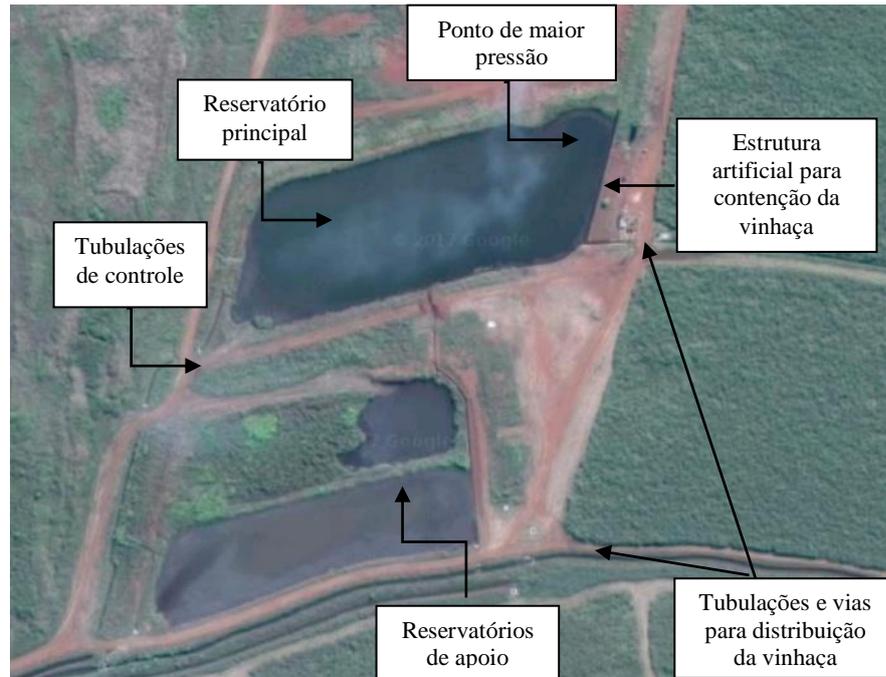


Figura 15: Principal reservatório de vinhaça, destacando-se a estrutura artificial construída para a contenção da vinhaça.

Google (Adaptado).

Na Figura 15 é mostrado o principal reservatório de vinhaça da instalação. Na imagem é possível se identificar uma estrutura artificial (barragem) que tem como função conter o efluente, identificando-se ainda o local de maior pressão exercida pelo líquido. A observação da imagem aérea sobre a barragem comprova que sua estrutura foi construída com utilização de terra e outros materiais da região.

Ainda na Figura 15, observam-se duas outras estruturas de armazenamento que funcionam como apoio (*backup*) ao reservatório principal, atendendo a situações de manutenção ou esgotamento da capacidade de armazenamento do mesmo. Um conjunto de tubulações interligam essas estruturas, e os conectam com a rede de fertirrigação e com os demais componentes do sistema industrial.

Uma vez que o estudo dos cenários transientes se concentra sobre o reservatório principal, suas dimensões foram calculadas a partir do estudo do imageamento aéreo (medidas obtidas utilizando ferramenta disponível no *Google Earth* 2017). Assim, tem-se que o reservatório mede aproximadamente 155 m de comprimento e 64 m de largura.

Para o cálculo da capacidade máxima de armazenamento², estima-se a necessidade de armazenamento de aproximadamente 40.000 m³ de vinhaça. Tal volume impõe uma lâmina de efluente com uma altura de 4 m acima do nível do solo. Desta forma, forma-se uma barragem com 4,5 metros de altura, com crista de aproximadamente 0,5 m (altura livre da barragem acima do nível máximo do efluente).

O cálculo para a estimativa dos impactos ambientais crônicos considera a média do ciclo completo da cana-de-açúcar, de 05 anos (SILVEIRA *et al.*, 2000). Neste cálculo, são consideradas as características de cada ano do ciclo, levando em conta a produtividade (menores no início e final do ciclo), o consumo de recursos (maior no início do ciclo), entre outras características. A partir de valores médios deste ciclo completo são estimados os valores mássicos e energéticos a serem informados aos fluxos elementares de interesse, ponderados frente a unidade funcional selecionada.

3.3 Inventário do ciclo de vida e risco

A base para o desenvolvimento deste ICVR são os dados coletados por Vilela (2013), a partir dos quais foi modelado no software GaBi Education o sistema tecnológico. Em relação aos dados originais, foram atualizadas e acrescentadas algumas informações, detalhadas no Anexo 1 – Procedimentos para a construção do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.

Observa-se que a vinhaça apresenta características que contribuem para a formação de GEE (PAREDES, 2015). Considerando as categorias de impacto selecionadas, é apresentado na Tabela 17, a seguir, os valores de emissão para cada um dos gases de interesse em relação a cada cenário, conforme extraído da literatura e ajustados para este estudo:

² Considerando a necessidade de fertirrigação.

Tabela 17: Valores de emissão para os gases CO₂, N₂O e CH₄, conforme cenário de interesse.

Operação em regime permanente		
Gás	Valor (em kg/kg de vinhaça)	Fonte:
CO ₂	3,99 x 10 ⁻⁵	Adaptado de (DE OLIVEIRA, BRUNA GONÇALVES <i>et al</i> , 2013; PAREDES, 2015)
CH ₄	8,74x10 ⁻⁶	Adaptado de (OLIVEIRA, BRUNA GONÇALVES <i>et al</i> , 2017)
N ₂ O	3,50x10 ⁻⁸	Adaptado de (PAREDES, 2015)
Cenários transientes		
CO ₂	1,14x10 ⁻⁴	Valor que considera as três fases do evento transiente de inundação (vazão, estabilização e infiltração).
CH ₄	5,73x10 ⁻⁵	Adaptado de (PAREDES, 2015)
N ₂ O	3,50x10 ⁻⁸	Adaptado de (PAREDES, 2015)

No Anexo 3 – Cálculo da emissão média de CO₂ e de outros GEE em reservatório de vinhaça, traz-se uma discussão que justifica os valores da Tabela 17.

A Figura 16 destaca a modelagem do sistema tecnológico preparada para representar a operação em regime permanente, considerando os cenários transientes de interesse:

JM - Technological Model_ Industrial phase_ethanol refinery_573 t/h (Copy)

Plano de processo GaBi:Quantidades de referência
Os nomes dos processos básicos são mostrados.

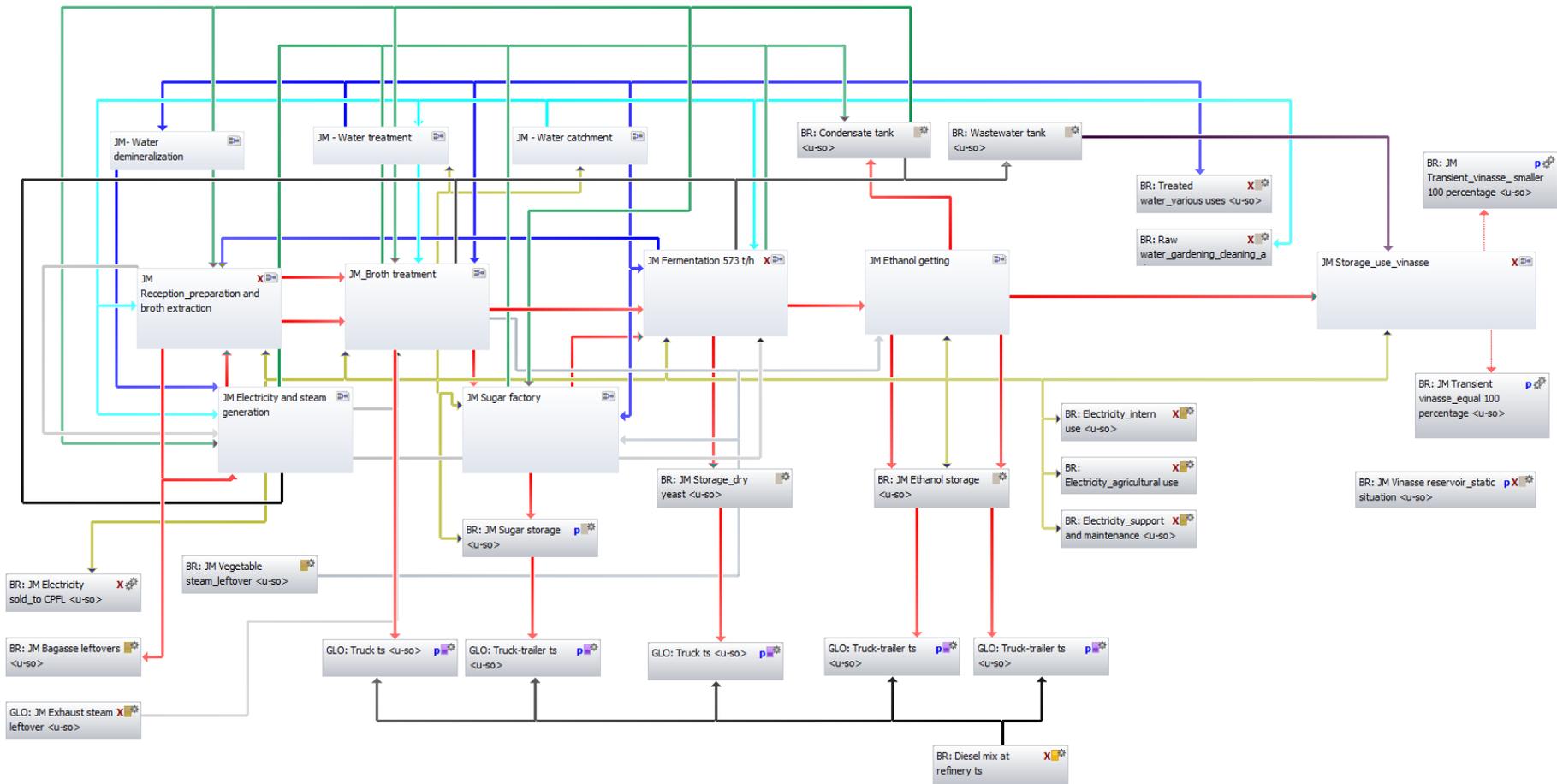


Figura 16: Adequação do modelo tecnológico para comportar análise de impactos ambientais da operação em regime permanente e de eventos transientes sobre o Reservatório de vinhaça, modelado no software *GaBi Education*

Em seguida, temos na Figura 17 a área do modelo tecnológico que concentra o processo de interesse (reservatório de vinhaça) e a modelagem dos eventos transientes.

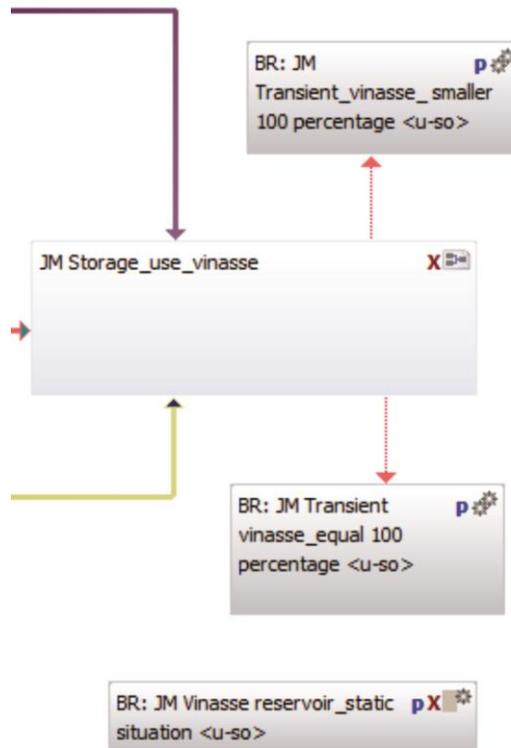


Figura 17: Processos desenvolvidos no software *GaBi Education* para controle dos eventos transientes.

A finalidade dos diferentes processos da Figura 17 é explicada na Tabela 18:

Tabela 18: Finalidade dos processos desenvolvidos para controle de eventos transientes.

Processo	Finalidade
JM_Storage_use_vinasse	Cálculo da emissão do reservatório considerando o fluxo elementar de vinhaça originário da refinaria
JM Transient_vinasse_smaller_100percentage	Cálculo das emissões totais em situações de vazamento entre 10% e 30%;
Transient_vinasse_equal_100percentage	Cálculo das emissões totais em situação de vazamento de 100% do conteúdo do reservatório
JM Vinasse_reservoir_static situation	Cálculo da emissão de gases considerando o volume total de vinhaça armazenado no reservatório

Fonte: Elaboração própria.

O acionamento desses processos pode ser feito diretamente pelo analista, por meio da manipulação de parâmetros e equações especialmente construídas, a partir dos valores

originários informados no ICVR para a operação em regime permanente, e quando necessário, novos valores são informados ao aplicativo Gabi Education por meio de parâmetros específicos. Nas Tabelas 19 e 20, são destacadas parte da parametrização necessária para a construção e simulação dos cenários transientes de interesse.

Tabela 19: Parâmetros globais informado no software *GaBi Education*, como parte da estrutura necessária para simulação de eventos transientes

Controle de processos				
Parâmetros Globais				
Parâmetro	Valor	Mínimo	Máximo	Comentário
Densidade	1,143	1	1,2	Litro por kg/vinhaça
Lagoa_vinhaça	45	40	50	Peso (em kg x 10 ⁶) da vinhaça armazenada no reservatório

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20: Processos, parâmetros locais e equações desenvolvidas no software *GaBi Education*, como parte da estrutura necessária para simulação de eventos transientes

Controle de processos					
Processos e Parâmetros de Controle Locais					
Parâmetros de controle					
Processo:	JM Transient_vinasse_smaller_100 percentage				
Trnt_vin	0	0	0,3	[off/on]	Se Valor 0,1 ou 0,3; indica vazamento de 10% ou 30%
Processo:	JM Transient_vinasse_equal 100 percentage				
Trnt_100	0	0	1	[off/on]	Se Valor 1; indica vazamento de 100%
Processo:	JM Vinasse reservoir_static situation				
Inp_vin	0	0	1	[off/on]	Se Valor 1; indica 100% do peso armazenado
Equações					
Inp_vin	Lagoa_vinhaça*Trnt_vin*Densidade				Determina a quantidade (em kg de vinhaça) multiplicada pelo kg de emissão do gás de interesse
Inp_vin	Lagoa_vinhaça*Trnt_100*Densidade				

Fonte: Elaboração própria.

Aprofundando o entendimento dos processos desenvolvidos para a manipulação de eventos transientes dentro do *Gabi Education*, observa-se que o seu acionamento introduz

uma perturbação no fluxo de vinhaça, o que permite que o aplicativo possa recalcular os impactos a partir dos novos valores mássicos informados externamente e produzir resultados dentro da categoria de impacto de interesse.

Finalizada a construção do ICVR e dos processos adicionais, são estimadas as probabilidades dos eventos de interesse. É utilizado o método FTA - Árvore de Falhas, que apresenta forte lastro teórico e é amplamente utilizado em problemas de engenharia, conforme destacado por Ibarra-Hernández *et al.* (2015). Para o cenário de vazamento de 100%, denominamos o evento topo como “Inundação”. Neste caso, temos o rompimento abrupto da barragem. Para os demais cenários (derramamento de 10% e 30% do volume armazenado), denominamos o evento topo como “Vazamento”.

Destacamos que não é encontrado na literatura científica relatos de rompimentos ou vazamentos para reservatórios de vinhaça. Desta forma, o estudo aqui apresentado baseia-se em reservatórios com barragens de diferentes materiais construtivos, inclusive terra, destinados ao armazenamento de diversos tipos de líquidos. Os volumes armazenados encontrados em estudos da literatura também ultrapassam de forma significativa o armazenamento previsto para este estudo de caso. A partir da consideração dos dados encontrados, embasamos nossas hipóteses não apenas os eventos iniciadores e modos de falha, como também para os impactos resultantes. Mostramos nas Tabelas 21 e 22 os resultados encontrados em nossas pesquisas:

Tabela 21: Eventos de rompimentos e vazamentos em barragens (continua)

Referências	Discussão
(FENG, 2012)	Destaca-se o evento de rompimento da barragem de Xiaolin, ocorrido em 2009 na China, com vazamento de mais de 25 milhões de m ³ de água. Discute as causas do rompimento, iniciado a partir de evento sísmico, e as consequências decorrentes.
(SINGH; SNORRASON, 1984)	O autor realiza extenso levantamento de causas de rompimento em pequenas barragens nos EUA, sendo algumas de terra, destacando eventos de overtopping, má conservação, defeitos de construção, entre outros.
(BRICKER <i>et al.</i> , 2017)	São debatidas as diversas causas de rompimentos em barragens e suas consequências. Estudam o rompimento da barragem de Kali Gandaki, no Nepal, provocada por um evento sísmico. Propõem um modelo matemático para a predição desses eventos.
(WYŻGA <i>et al.</i> , 2018)	A variabilidade do fluxo do Rio Vístula é discutido, frente as mais de 50 barragens existentes em seu curso. Grandes volumes de chuva são analisados frente as consequências sobre o fluxo e a presença das barragens.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22: Eventos de rompimentos e vazamentos em barragens (conclusão)

Referência	Discussão
(STEVENS; LINARD, 2002)	Os autores discutem os rompimentos em barragens, destacando como causas principais falhas em fundações, subestimativa vazão de sangradouros, eventos de overtopping de diversas causas, entre outras.
(LEE; YOU, 2013)	As mudanças climáticas são discutidas como ameaça a segurança das barragens, por alterarem o regime hidrológico dos rios, o que pode levar ao incremento de eventos de overtopping, causando seu rompimento.
(CHONGXUN <i>et al.</i> , 2008)	Destacam a existência de mais de 86 mil barragens na China, sendo perto de 90% de terra. Entre 1950 a 1990, citam a ocorrência de 1.147 eventos de overtopping, representando 46,6% das falhas em barragens naquele país no período. Citam como principais causas de rompimento, além do overtopping, as ondas provocadas por ventos intensos.
(HU; MA, 2016)	Os autores destacam que eventos de vazamento são comuns em muitas barragens, citando condições geológicas do solo, defeitos em fundações e nas faces das represas. Analisam 593 casos de falhas em barragens de terra, que apesar de pequenos reservatórios em sua maioria, apresentam altas possibilidades de falhas, que podem levar ao seu rompimento.
(DAI <i>et al.</i> , 2017)	É analisada a barragem de concreto de grande porte (110 m. de altura) localizada na bacia do rio Dabu, na China. Citam diversos eventos de vazamentos, destacando que essas situações são comuns em todos os tipos de barragens. Discutem em seguida métodos automatizados de controle.
(FROEHLICH, DAVID, 2016)	O autor revisita as principais causas de rompimento de barragens, desenvolvendo a partir daí conjunto de equações para a determinação de valores de vazão, largura da brecha, entre outros parâmetros.

Fonte: Elaboração própria.

A partir do estudo realizado, consideramos para todos os cenários transientes o reservatório com sua capacidade máxima de armazenamento, equivalente a 40 mil m³ de vinhaça. Justifica-se essa opção uma vez que o rompimento de uma barragem ocorre principalmente em situações em que essa situação é verificada. Da mesma forma, o surgimento de vazamentos também é mais comum nessas situações, pois a maior pressão do efluente sobre as paredes do talude facilitam a infiltração pelos espaços intersticiais existentes entre as partículas do material componente da estrutura, conseguindo superar a resistência de gases armazenados e construir caminhos que podem conduzir o efluente até a superfície externa da barragem. Neste processo, são movimentadas partículas finas e criadas fragilidades que contribuem para o abatimento da estrutura.

Para a aplicação da FTA, inicialmente são identificados os modos de falhas (eventos secundários que podem induzir um evento topo) associados aos eventos-topo os eventos-básicos (eventos iniciais de uma cadeia que podem culminar com um evento-topo).

O intervalo de probabilidades estabelecido está contido entre 0,99999 (virtualmente certo) e 0,000001 (virtualmente impossível), considerando a possibilidade de ocorrência de um evento em 01 ano de funcionamento da refinaria. Descritores verbais traduzem as diferentes faixas de probabilidade dentro deste intervalo, conforme evidenciado na Tabela 23, a seguir.

Tabela 23: Descritores verbais e probabilidades associadas

Descritor verbal	Probabilidade associada
Virtualmente certo	$99,999 \times 10^{-2}$
Muito provável	8×10^{-1}
Provável	5×10^{-1}
Quase provável	0,1
Pouco provável	1×10^{-2}
Menos que provável	1×10^{-3}
Improvável	1×10^{-4}
Muito improvável	1×10^{-5}
Virtualmente impossível	1×10^{-6}

Fonte: Spancold *et al* (2012) (Adaptado)

A Figura 18 mostra a modelagem de FTA para o evento-topo “Rompimento abrupto da barragem, com inundação”. Neste evento, ocorre o vazamento de 100% do conteúdo do reservatório. Destaca-se os modos de falha mapeados: Rompimento do talude por ato extremo, Galgamento (*overtopping*), Instabilidade do talude, Falha de Projeto e Processo erosivo no talude. Esses modos de falha estão associados ao evento topo por meio de uma porta lógica “OU”, indicando que basta a ocorrência de um deles de forma isolada para desencadear o fenômeno do rompimento, com a inundação abrupta.

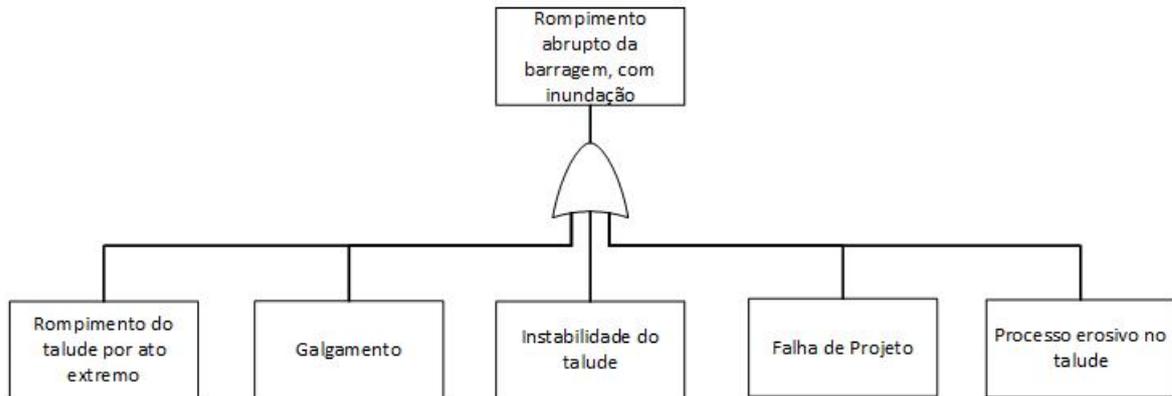


Figura 18: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando os principais modos de falha.

Os modos de falha de interesse estão detalhados nas Figuras 19, 20, 21, 22 e 23. mostradas na sequência. A Figura 19 mostra o modo de falha "Rompimento do talude por ato externo". Neste conjunto, são mostrados eventos relacionados a atividades que ocorrem próximo da superfície a montando da barragem:

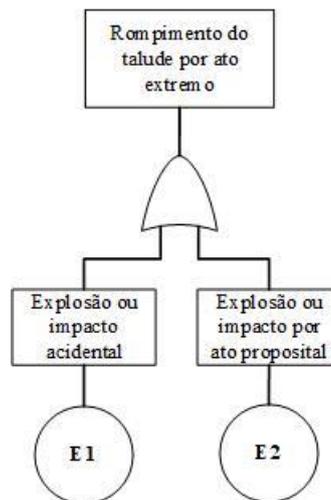


Figura 19: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Rompimento do talude por ato extremo"

Na Figura 19 destaca-se o modo de falha de interesse associado por uma porta lógica "OU", com os eventos básicos que podem provocar isoladamente a queda da estrutura.

Em seguida, a Figura 20 destaca o detalhamento para o modo de falha Galgamento (*overtopping*). Neste evento, destacam-se as possíveis situações nas quais o efluente ultrapassa o topo da barragem, propiciando situação típica que pode causar o evento de interesse:

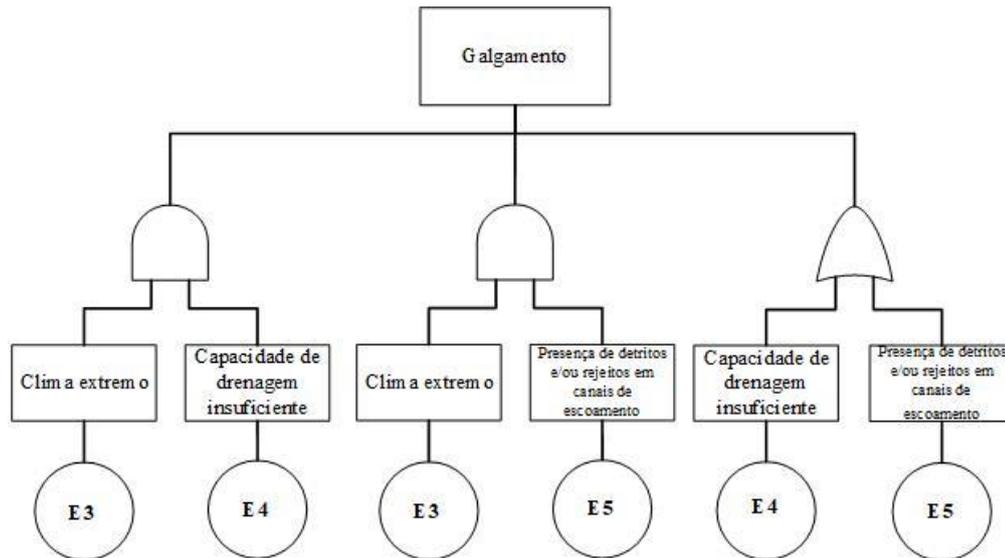


Figura 20: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Galgamento", destacando os eventos básicos mapeados

O fenômeno de galgamento (*overtopping*) está associado a duas portas "E", indicando que são necessárias a combinação de dois eventos básicos para que ocorra o evento topo, e uma porta "OU", indicando que essa situação isolada é suficiente para desencadear o rompimento.

O modo de falha "Instabilidade do talude" é um evento que pode ser provocado por diversos fatores. Foram mapeados os modos de falha: infiltração de efluente pela face interna do reservatório, sobrecarga estrutural e obsolescência, considerados como aqueles de maior potencial crítico. Esses modos de falha são desdobrados até que se alcance seus eventos básicos, conforme destacado na Figura 21:

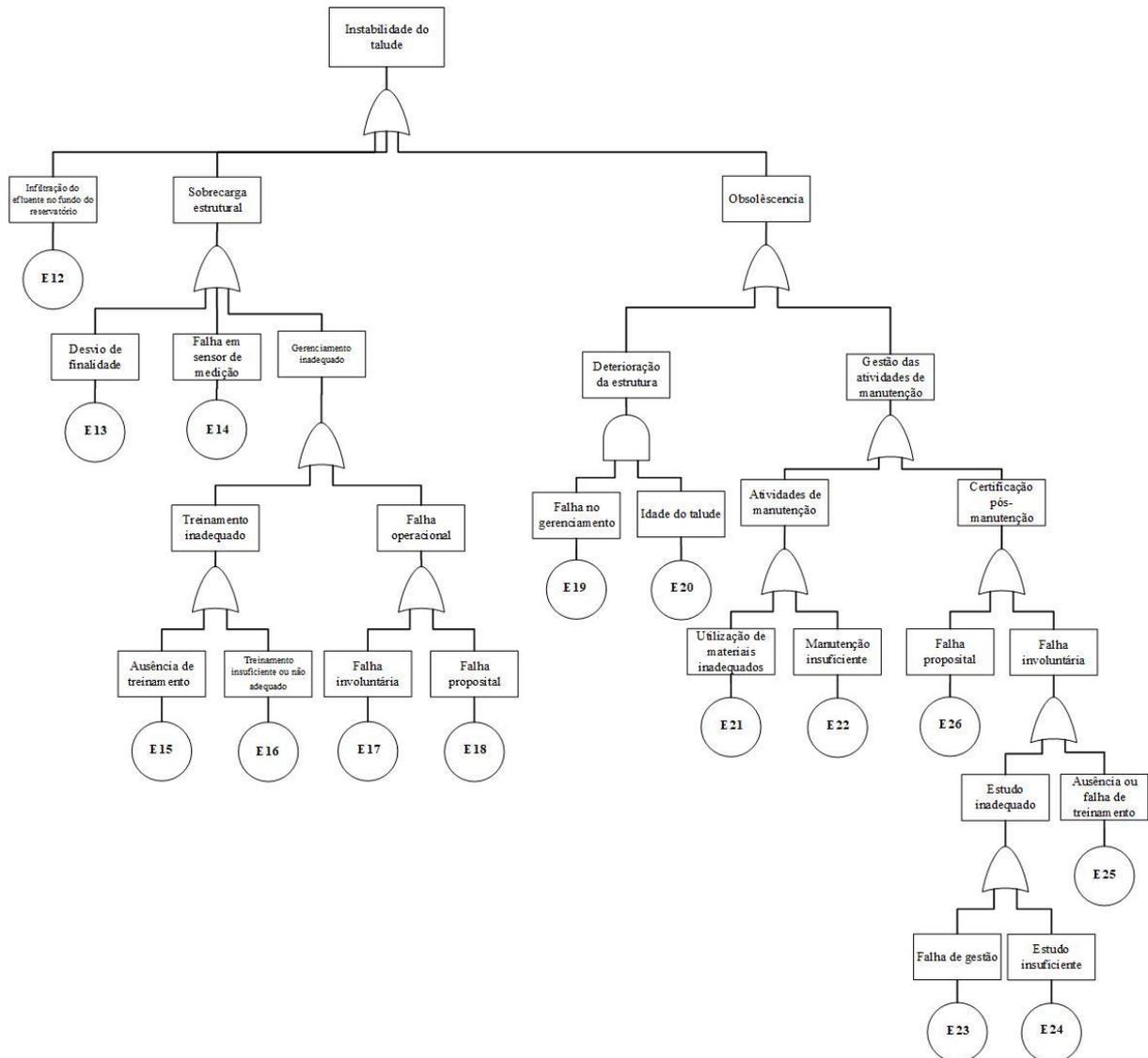


Figura 21: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Instabilidade do talude"

O evento Instabilidade do talude apresenta significativa complexidade. Em seguida, a Figura 22 destaca o modo de falha "Falha de Projeto":

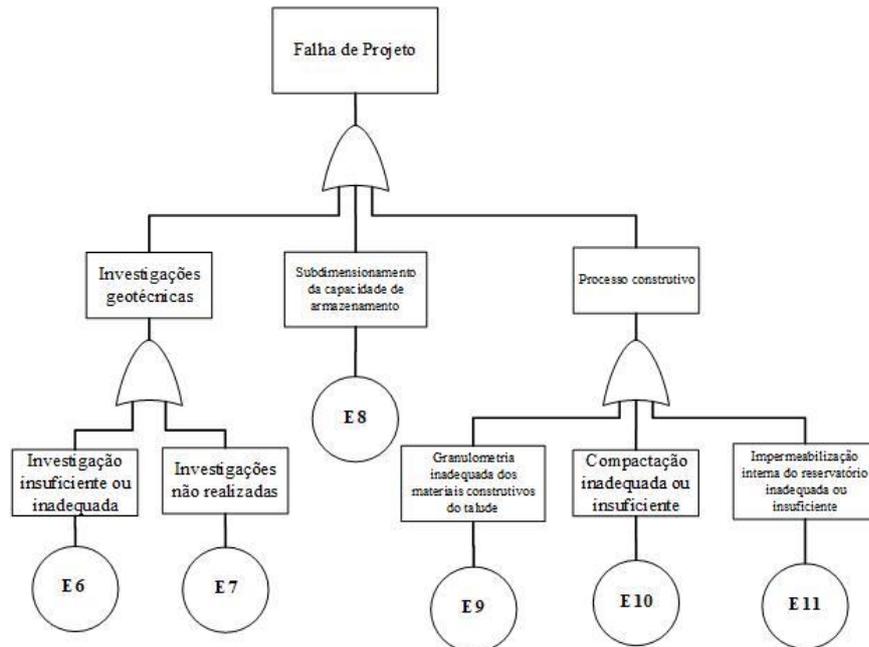


Figura 22: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Falha de projeto"

Os modos de falha mostrados na Figura 22 não apresentam consequências imediatas, mas ao longo do tempo podem propiciar condições para o abatimento da estrutura. Finalmente, na Figura 23, é mostrado o modo de falha "Processo erosivo no talude":

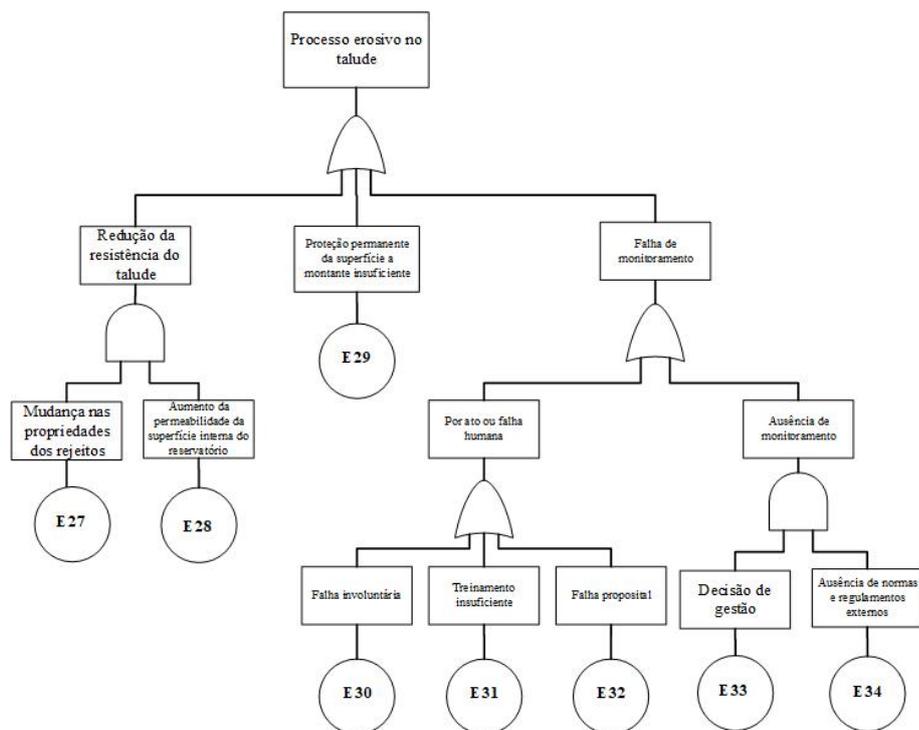


Figura 23: Árvore de falhas para o evento topo "Rompimento abrupto de barragem, com inundação", evidenciando o modo de falha "Processo erosivo no talude"

O modo de falha “Processo erosivo do talude” está associado a diversos outros eventos intermediários, que são desdobrados até que se alcance seus eventos básicos.

Nas Tabelas 24 e 25, apresentam-se os valores atribuídos de probabilidade para cada um dos eventos básicos, a partir de uma avaliação empírica das chances de ocorrência desses eventos:

Tabela 24: Evento “Rompimento abrupto da Barragem”: atribuição de valores de probabilidades para eventos básicos da árvore de falhas de interesse (continua).

Evento Básico	Modo de falha	Descrição do evento básico	Probabilidade atribuída (%)
E1	Rompimento do talude por ação externa	Explosão ou impacto acidental na base do talude.	1×10^{-4}
E2		Explosão ou impacto proposital na base do talude.	1×10^{-54}
E3	Galgamento (<i>overtopping</i>)	Evento climático extremo	1×10^{-5}
E4		Capacidade de drenagem insuficiente	1×10^{-4}
E5		Presença de detritos e outros resíduos em canais de escoamento	1×10^{-4}
E6		Investigações geotécnicas insuficientes ou inadequadas	1×10^{-4}
E7		Investigações geotécnicas não realizadas	1×10^{-4}
E8	Falha de projeto	Subdimensionamento da capacidade de armazenamento	1×10^{-5}
E9		Processo construtivo: granulometria inadequada na construção do talude	1×10^{-3}
E10		Processo construtivo: compactação insuficiente	1×10^{-3}
E11		Processo construtivo: impermeabilização interna do reservatório insuficiente ou inadequada	1×10^{-4}
E12	Instabilidade do talude (continua)	Infiltração de efluentes no fundo ou parede interna do talude	1×10^{-4}
E13		Sobrecarga estrutural: desvio de finalidade na utilização do reservatório	1×10^{-5}
E14		Sobrecarga estrutural: falha em sensor de medição	1×10^{-4}
E15		Ausência de treinamento por gerenciamento inadequado	1×10^{-4}
E16		Treinamento insuficiente ou não adequado ao contexto por decisão de gestão	1×10^{-3}
E17		Falha involuntária na aplicação em rotinas de gerenciamento (monitoramento e controle)	1×10^{-4}

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 25: Evento “Rompimento abrupto da Barragem”: atribuição de valores de probabilidades para eventos básicos da árvore de falhas de interesse (conclusão).

E18		Falha proposital na aplicação em rotinas de gerenciamento (monitoramento e controle)	1×10^{-5}
E19		Obsolescência: Falha no gerenciamento que leve à deterioração da estrutura do talude	1×10^{-4}
E20		Obsolescência: deterioração da estrutura do talude por tempo de utilização (idade)	1×10^{-3}
E21		Obsolescência: pela utilização de materiais inadequados em atividades de manutenção do talude	1×10^{-3}
E22	Instabilidade do talude (conclusão)	Obsolescência: manutenção insuficiente para preservar a integridade do talude	1×10^{-3}
E23		Obsolescência: falha na certificação de manutenção realizada por ato de gestão	1×10^{-4}
E24		Obsolescência: falha na certificação de manutenção por análise e avaliação insuficiente	1×10^{-4}
E25		Obsolescência: falha na certificação de manutenção realizada por treinamento insuficiente ou ferramental inadequado	1×10^{-4}
E26		Obsolescência: falha na certificação de manutenção realizada por ato proposital	1×10^{-5}
E27		Redução da resistência do talude pela mudança na composição do efluente e/ou rejeitos	1×10^{-5}
E28		Redução da resistência do talude pelo aumento da permeabilidade interna da estrutura ou do fundo do reservatório	1×10^{-5}
E29		Proteção permanente na face à montante e da coroa do talude insuficientes	1×10^{-4}
E30	Processo erosivo no talude	Falha involuntária no monitoramento para a identificação de erosões e trincas na face à montante do talude	1×10^{-4}
E31		Falha no monitoramento provocado por treinamento insuficiente	1×10^{-4}
E32		Falha no monitoramento por ato proposital	1×10^{-5}
E33		Monitoramento inexistente por ato de gestão	1×10^{-4}
E34		Monitoramento inexistente por ausência de normas e regulamentos legais externos	1×10^{-3}

Fonte: Elaboração própria

Considerando os processos de aplicação da álgebra booleana, a probabilidade do evento topo pode ser representado na forma da Equação 12:

$$P(\text{Evento topo}) = ((P(P1) \cup P(P2) \cup P(P3) \cup P(P4) \cup P(P5)) - ((P(P1) \cap P(P2) \cap P(P3) \cap P(P4) \cap P(P5))) \quad (12)$$

As probabilidades de P(1), P(2) e P(3) P(4) e P(5) são resultado de outro conjunto de cálculos, a partir dos eventos básicos.

Para o evento topo “Ruptura abrupta da barragem, resultando em inundação”, estimou-se uma probabilidade de 0,79%, considerando um intervalo de um ano.

O evento topo “Vazamento” apresenta os mesmos modos de falha e eventos básicos para os cenários de vazamento de 10% e 30%, alterando-se, porém, as probabilidades atribuídas. A Figura 24 traz a modelagem de FTA para o evento topo “Vazamentos”, com a definição das portas, modos de falhas e eventos básicos.

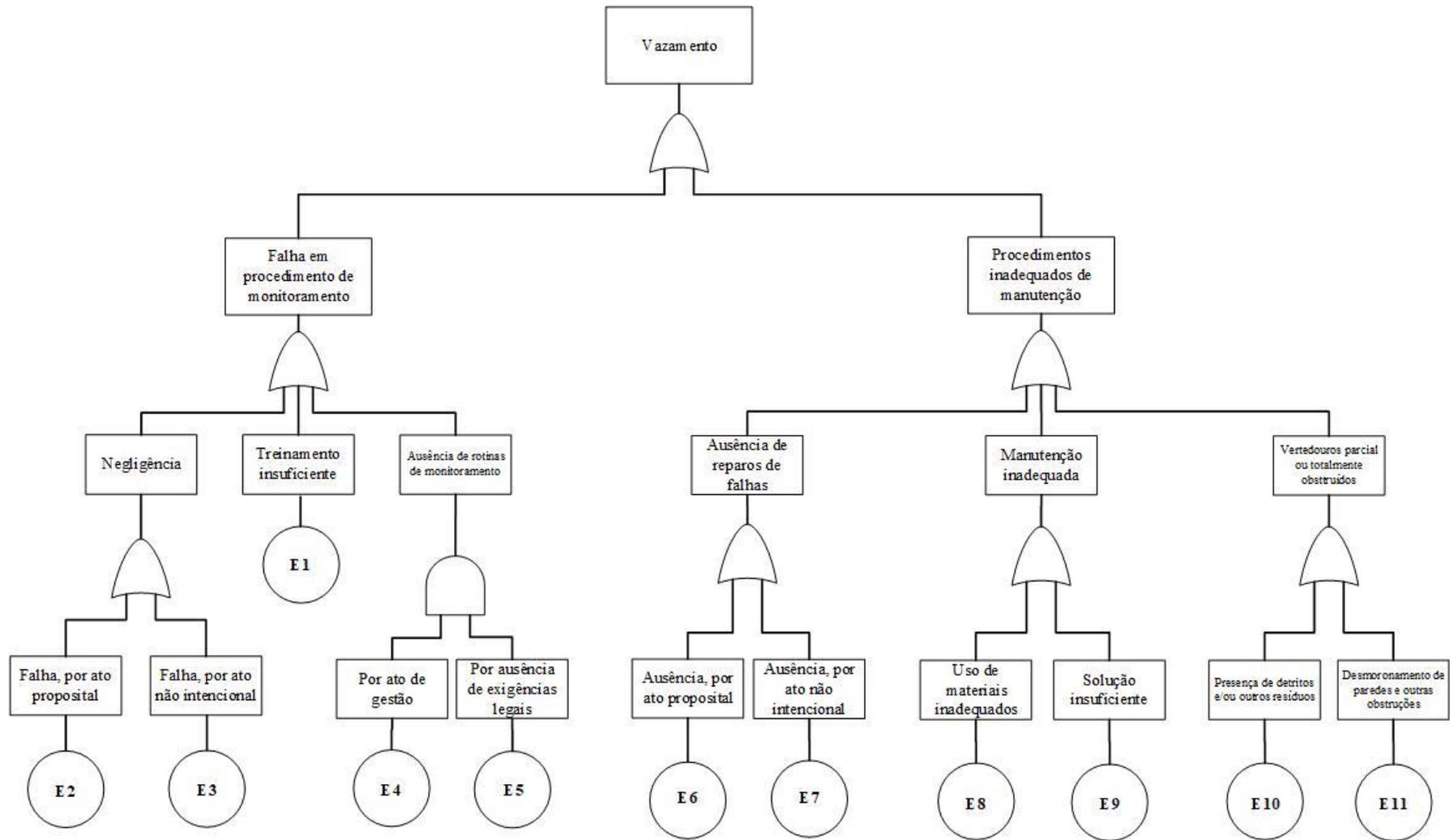


Figura 24: Árvore de falhas destacando os modos de falha e eventos básicos para vazamento no maciço da barragem.

Da mesma forma, são atribuídos valores de probabilidade para os eventos básicos relacionados ao evento topo de vazamento de 10% e 30%. Esses eventos são evidenciados na Tabela 26, a seguir.

Tabela 26: Evento topo – Vazamento: atribuição de valores de probabilidades para eventos básicos da árvore de falhas de interesse.

Evento	Descrição do evento intermediário	Descrição do evento	Probabilidade Atribuída (em %)	
			10%	30%
E1	Falha em procedimento de monitoramento e controle	Falha provocada por treinamento insuficiente	1×10^{-3}	1×10^{-3}
E2		Falha provocada por negligencia proposital	1×10^{-3}	1×10^{-4}
E3		Falha provocada por ato não intencional	1×10^{-2}	1×10^{-3}
E4		Falha provocada por falta de rotinas de monitoramento e controle – não elaboradas por decisão de gestão	1×10^{-3}	1×10^{-4}
E5		Falha provocada pela ausência ou inadequação das rotinas de monitoramento e controle	1×10^{-2}	1×10^{-3}
E6	Procedimento de manutenção inadequados	Ausência proposital de reparos de trincas, fissuras e erosões na face exposta do talude	1×10^{-3}	1×10^{-3}
E7		Ausência não intencional de reparos de trincas, fissuras e erosões na face exposta do talude	1×10^{-2}	1×10^{-2}
E8		Manutenção inadequada por uso de matérias impróprios	1×10^{-2}	5×10^{-2}
E9		Insuficiência nas atividades de manutenção e na solução de problemas	1×10^{-2}	1×10^{-3}
E10		Obstrução parcial ou total de canais de escoamento pela presença de detritos e outros resíduos	1×10^{-2}	1×10^{-3}
E11		Obstrução parcial ou total de canais de escoamento pelo desmoronamento de estruturas	1×10^{-2}	1×10^{-3}

Fonte: Elaboração própria.

Assim, concluindo a análise das probabilidades envolvidas nos diferentes eventos transientes, tem-se:

Tabela 27: Valores de probabilidades definidas para os eventos transientes.

Eventos	Probabilidade Atribuída (Percentual de chance de ocorrência em cinco anos de operação)
Vazamento de 10%	5,80%
Vazamento de 30%	3,44%
Rompimento abrupto da barragem com vazamento de 100%.	0,79%

Fonte: Elaboração própria.

3.4 Avaliação de impactos do ciclo de vida e risco

Nesta etapa do estudo, e a partir dos dados finais do ICVR, são calculadas as emissões das atividades da indústria com foco em impactos intermediários (*midpoint*) e finais (*endpoint*), para os cenários de operação em regime permanente e transientes.

3.4.1 Emissões considerando impactos intermediários

Os valores componentes do ICVR são associados à categoria de impacto Potencial de Aquecimento Global (GWP 100 anos), considerando método CML 2001 (Jan.2016, GWP 100 anos – considerando carbono biogênico). Trata-se de abordagem *midpoint*, suportada por *Gabi Education*.

Para a operação em regime permanente, o impacto calculado foi de 154.577,63 kgCO₂eq. Deste valor, a contribuição do processo de armazenamento de vinhaça foi de apenas 298,27 kgCO₂eq, equivalente a menos de 0,2% do impacto total. Entendemos que esse valor é decorrência da utilização do fluxo elementar de vinhaça que alimenta o reservatório, calculado em 505.386 kg, e equivalente a apenas 1,12% do volume máximo do efluente que pode ser armazenado, que é superior a 45 milhões de kg. Embora o valor obtido seja coerente com a metodologia de ACV e em alinhamento com a unidade funcional do estudo, não representa a realidade, já que o volume armazenado certamente será superior a massa utilizada.

Para atender aos objetivos do estudo, foi desenvolvido o processo “*JM Vinasse reservoir_static*”, preparado para considerar diferentes volumes armazenados. Para efeito da análise, o balanço para esse processo é calculado, considerando-se o volume máximo armazenado, obtendo-se o valor de 13.416,71 kgCO₂eq, ou 8,7% das emissões totais,

representando neste caso o pico das emissões de responsabilidade do reservatório. Mostramos na Figura 25 o intervalo que pode ser observado pelas emissões, considerando o volume mínimo (equivalente a massa correspondente ao fluxo elementar) e máximo (utilização da capacidade total de armazenamento):

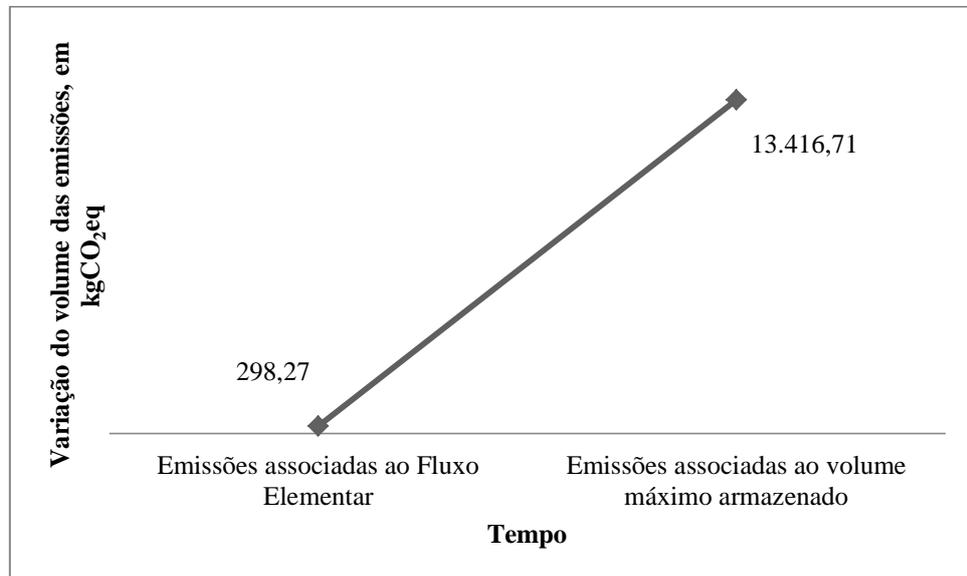


Figura 25: Intervalo de variação das emissões do reservatório, considerando o volume correspondente ao fluxo elementar e o volume máximo para o armazenamento - cenário de operação em regime permanente – categoria de impacto Potencial de aquecimento global (CML2001 – Jan.2016), metodologia *midpoint*.

Ressaltamos que qualquer valor obtido que não atenda a metodologia de ACV somente pode ser utilizado dentro do contexto e propósitos do estudo.

A Figura 26 destaca o balanço ambiental para todos os processos da refinaria, considerando a categoria de impacto PAG. Para efeito de comparação com os demais processos, para o reservatório de vinhaça, são mostrados os valores correspondentes ao fluxo elementar e máximo.

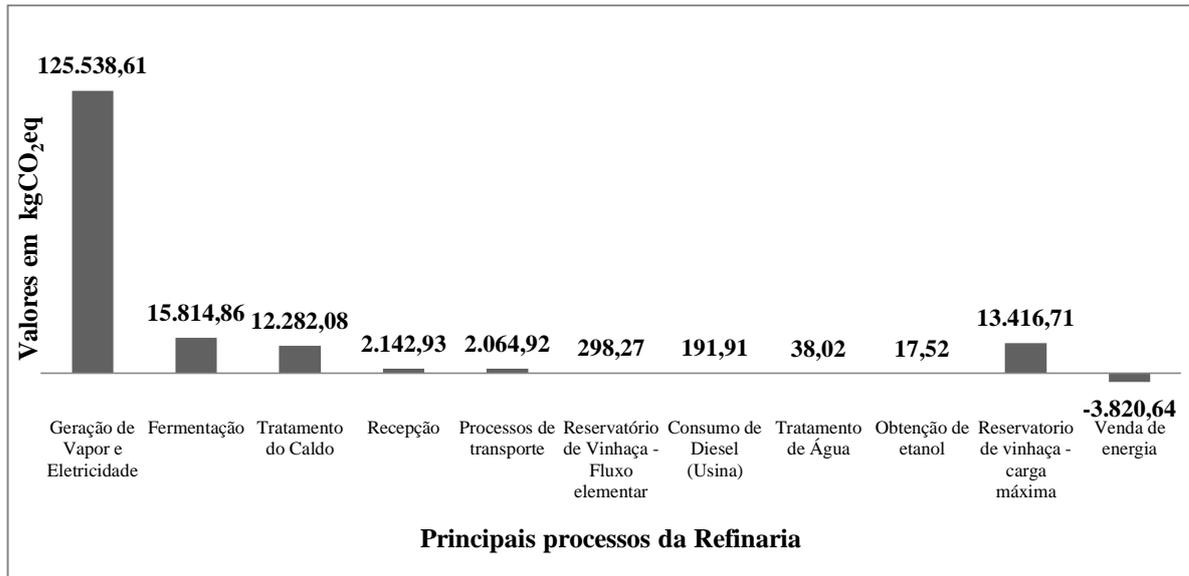


Figura 26: Resultados obtidos para o cenário de operação em regime permanente – categoria de impacto Potencial de aquecimento global (CML2001- Jan 2016), metodologia *midpoint*.

Observamos que o processo de cogeração é responsável por mais de 80% de todos os impactos da operação em regime permanente. Contudo, permite um desconto de 3.820,64 kgCO₂eq sobre as emissões totais.

Uma vez conhecida as emissões associadas a operação em regime permanente (cenário padrão), utilizando-se da modelagem desenvolvida para a simulação dos cenários transientes, são calculados os impactos intermediários produzidos pelos vazamentos de 10%, 30% e 100% do conteúdo do reservatório, observando a premissa de que esses fenômenos somente ocorrem quando o reservatório se encontra em sua capacidade máxima. A Figura 27 traz os resultados para a categoria de impacto PAG, em uma abordagem *midpoint*:

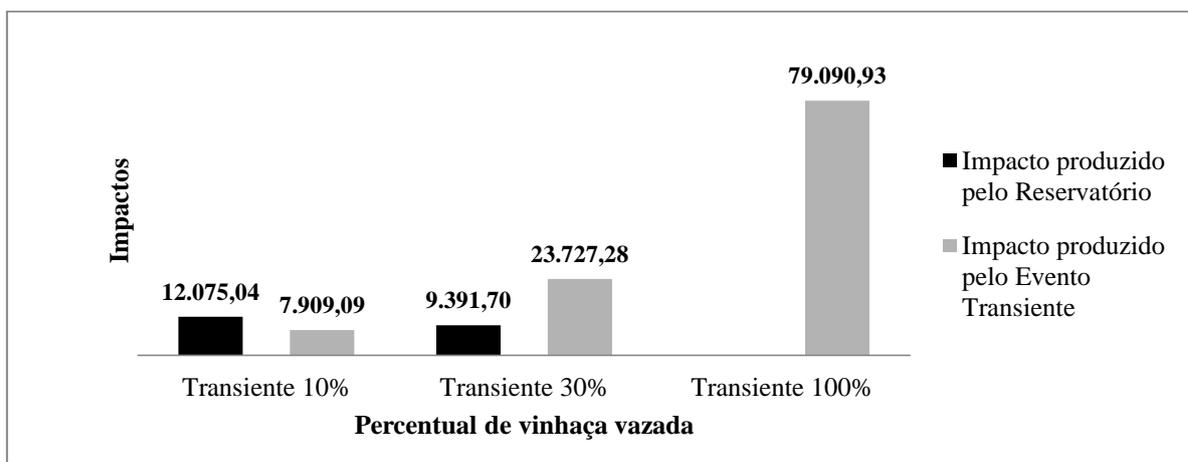


Figura 27: Valores de impacto obtidos para cada cenário transiente (valores em kgCO₂eq) – Categoria de impacto Potencial de aquecimento global - metodologia *midpoint* (CML2001 – Jan. 2016)

Observa-se uma relação linear entre a redução do impacto do reservatório, na medida em que esse perde volume para o vazamento. A mesma relação pode ser observada com relação ao impacto produzido pela quantidade vazada, cujo impacto cresce em função de uma maior área exposta.

Uma vez estimados os impactos produzidos a partir de um ponto de vista de impactos ambientais intermediários, e atendendo aos propósitos do estudo, a análise é realizada observando metodologia *endpoint* (abordagem em danos finais).

3.4.2 Emissões considerando danos finais

Para alcançar esse objetivo é utilizada a categoria de impacto Mudanças Climáticas associada ao método ReCiPe 1.08 (*Climate Change Human Health*, considerando as emissões de carbono biogênico, em uma perspectiva Hierárquica), de abordagem *endpoint*. Esse método também suportado por *Gabi Education*. O impacto total da operação em regime permanente para esta categoria de impacto é de 0,216 DALY. Apresenta-se na Figura 28 o impacto produzido para todos os processos da refinaria, mostrando o impacto produzido pelo reservatório nas duas situações: considerando o fluxo elementar e aquele produzido quando da utilização de sua capacidade máxima de armazenamento.

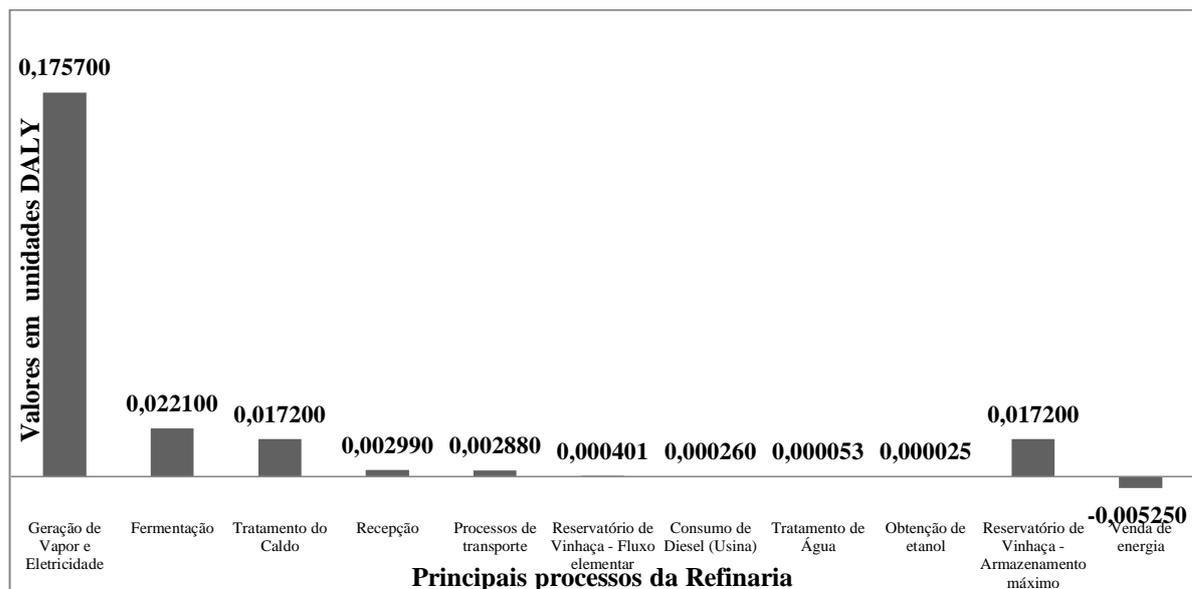


Figura 28: Resultados para o cenário de operação em regime permanente – Categoria de impacto Mudanças Climáticas (HH) - metodologia *endpoint* (ReCiPe 1.08) – todos os processos

A distribuição dos impactos segue aquela já identificada para a metodologia *midpoint*. Estudando-se agora os impactos produzidos pelos eventos transientes, destacam-se os valores estimados na Figura 29:

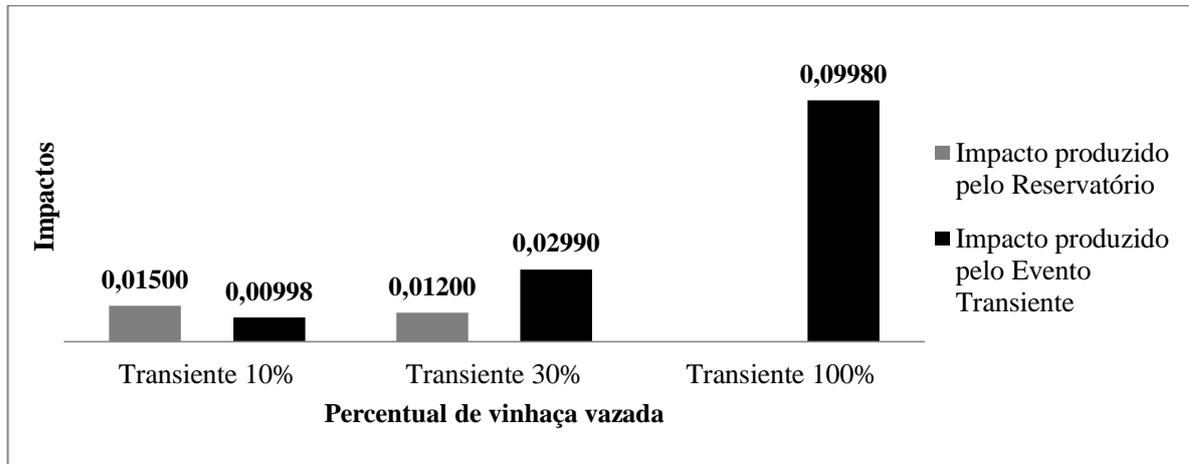


Figura 29: Impactos produzidos pelo Reservatório e para os cenários de eventos transientes – Categoria de impacto Mudanças Climáticas - metodologia *endpoint* (ReCiPe 1.08)

Recuperando a Equação 5, proposta por Huijbregts *et al.* (2017), e do indicador para a conversão de valores de kgCO_2eq em unidades DALY, em uma perspectiva hierárquica, temos na Equação 12 a conversão do impacto *midpoint* referente a operação em regime permanente da instalação, para *endpoint*:

$$154.577,63 \text{ kgCO}_2\text{eq} \cdot x 1,4 \times 10^{-6} = 0,21640 \text{ DALY} \quad (12)$$

O resultado da Equação 18 não apenas confirma a possibilidade da análise integrada de metodologias *midpoint* e *endpoint*, como também permite compreender os impactos produzidos pela instalação considerando quantidades de anos de vida perdidos e/ou de incapacidade relativos ao aumento de doenças como malária, diarreia, desnutrição e desastres naturais provocados pelo aumento da temperatura global, em que pese a maior incerteza envolvida (GOEDKOOOP *et al.*, 2013).

3.4.3 Relacionamento entre emissões crônicas e permanentes

Este estudo propõe integrar as emissões produzidas pela operação em regime permanente com aquelas associadas aos eventos transientes de interesse. Para tanto, o estudo concentra-se no evento transiente de vazamento de 100%, considerando-se ser este o pior cenário e aquele que apresenta o maior volume de impactos ambientais. Para que este

relacionamento possa ser estabelecido, discute-se a dinâmica temporal do processo de inundação, considerando o comportamento do efluente.

Inicialmente, ocorre a ruptura do reservatório até o seu total esvaziamento. Com isso, forma-se lâmina de líquido sobre o solo a jusante. O tempo total de esvaziamento do reservatório e espalhamento do líquido é calculado em duas horas. Nesta fase, as emissões ocorrem pela interface vinhaça/atmosfera da área total afetada (reservatório mais área inundada). Durante esse processo e após as duas horas, com maior intensidade, ocorre a infiltração do líquido depositado sobre o solo. Nesta fase, as emissões ocorrem inicialmente pela interface líquido/atmosfera (enquanto houver líquido espalhado sobre a área afetada) e depois pela interface solo/atmosfera (área de solo correspondente ao total inundado). Este processo inicia-se após o vazamento total do líquido contido no reservatório (que passa a contribuir com emissões residuais), e considera o tempo de residência da lâmina de efluente sobre o solo. Encerra-se com a completa infiltração do mesmo, ultrapassando o horizonte A do solo, momento em que cessam as emissões mais importantes. O tempo estimado neste processo é de 11 horas. Assim, temos que o tempo total do evento é de 13 horas.

Ao longo do período dessas 13 horas, o volume de GEE emitida varia. No Anexo 3 – “Cálculo da emissão média de CO₂ e de outros GEE em reservatórios de vinhaça”, a partir de um estudo das emissões de CO₂ em cada uma das fases do evento transiente de inundação, é detalhada a forma de obtenção dos valores de temporabilidade e da emissão média de CO₂, principal gás considerado. Para o relacionamento entre os resultados encontrados até o momento, estaremos utilizando para o valor das emissões em regime permanente a emissão de 154.577,63 kgCO₂eq, que considera as emissões do reservatório com a utilização somente do volume mássico correspondente ao fluxo elementar. Para o cenário transiente, temos o impacto de 79.090,93 kgCO₂eq, mas associado a um volume que não corresponde à mecânica tradicional de ACV.

Ressalta-se que eventos transientes apontam para impactos potenciais, que podem ou não ocorrer dentro do espaço temporal analisado. No caso, o ciclo analisado foi de 1 ano, ou 8.760 horas. Também, que as consequências das emissões produzidas por um evento transiente variam conforme o momento da ocorrência do evento dentro do espaço temporal da análise. Se o evento ocorre no início do período analisado, as consequências cumulativas no tempo são maiores que aquelas resultantes de um evento que ocorre no final do período

analisado. Considerando esses aspectos, assume-se que o evento transiente irá ocorrer pelo menos uma vez, no início do período estudado.

Ainda, dada a existência de estruturas de apoio que podem suprir a inoperância temporária do reservatório principal durante um período limitado de tempo, entende-se que a planta industrial irá ou interromper suas atividades, ou reduzir seu ritmo de produção, até que sejam acionados os mecanismos que desviam o fluxo de vinhaça para os reservatórios de apoio. Como o acionamento desses mecanismos tem caráter emergencial e o processo de recuperação da estrutura provavelmente será rápido, de forma a não prejudicar a performance da indústria, se considerado dentro do ciclo temporal analisado, permite assumir que a emissão em regime permanente pode ser considerada ininterrupta dentro desse período.

A integração proposta considera a análise conjunta dos impactos crônicos e transientes, como forma de se criar estruturas que possam mitigar o total dos impactos, e não cada cenário isoladamente. Para tanto, é dividido o valor do impacto transiente (potencial) pela quantidade de horas de operação contínua, obtendo-se um montante de 9,03 kgCO₂eq, que se soma ao impacto produzido pela operação em regime permanente, resultando em 154.586,66 kgCO₂eq, que passa a corresponder aos impactos crônicos e transientes potenciais da instalação, considerando uma abordagem de impactos intermediários (*midpoint*).

Assim, do ponto de vista temporal, o novo valor passa a representar as emissões cumulativas totais (em regime permanente e potenciais), cujos impactos devem ser considerados sobre o meio ambiente. Considerando apenas as emissões associadas a categoria de impacto PAG, a Figura 30 ilustra essa dinâmica:

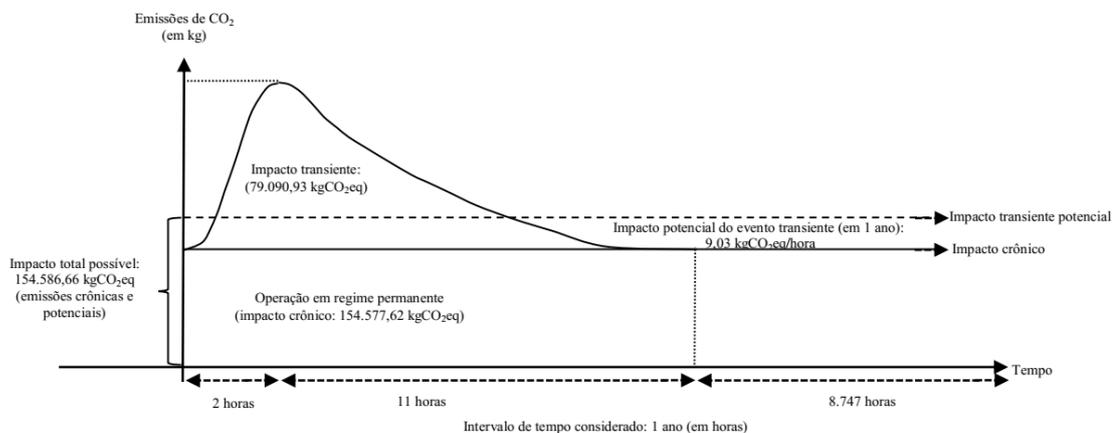


Figura 30: Distribuição temporal das emissões na ocorrência de vazamento de 100%.

Os valores obtidos não mantem relação com a unidade funcional do estudo. Idêntica análise pode ser realizada para a categoria de impacto *endpoint* Mudanças Climáticas (ReCiPe 1.08). A operação em regime permanente é responsável por um impacto de 0,216 DALY, e aquele derivado do impacto do evento transiente de vazamento de 100% do efluente, de 0,0998 DALY.

O impacto transiente em 1 ano corresponde a pouco mais que $1,13 \times 10^{-5}$ DALY/hora. Dada as dimensões das duas medidas, podemos concluir que o impacto crônico, de 0,216 DALY, responde por todos os danos ambientais relacionados. Uma vez obtidos os impactos ambientais crônicos e transientes considerando aspectos de danos intermediários e finais para as categorias de impacto Potencial de Aquecimento Global e Mudanças Climáticas, para se atingir os objetivos do estudo são estudadas outras consequências, tangíveis e intangíveis.

Destacando os impactos produzidos pelos vazamentos de 10% e 30%, observamos que os valores de emissões produzidos, se distribuídos em um horizonte de um ano, podem ser considerados muito pouco significativos: para o evento de 30%, respectivamente 2,71 kgCO₂eq/hora, e $3,4 \times 10^{-5}$ DALY/hora, enquanto o evento de derramamento de 10% responde por impactos de 0,9 kgCO₂eq/hora, e $1,1 \times 10^{-6}$ DALY/hora. Dada a pouca representatividade desses valores, nestes casos recomendamos observar apenas os impactos ambientais crônicos, de escala muito superior. Contudo, outros impactos associados a esses eventos tem maior relevância.

3.4.4 Identificação de outros impactos associados aos eventos transientes

O vazamento de 10% e 30% do efluente pode ser considerado fenômeno lento, com a vinhaça atingindo áreas de sacrifício³a jusante da barragem e se infiltrando no solo. O principal impacto se dá pela contaminação do solo e pela fragilização da estrutura da barragem. Já o vazamento de 100% do volume armazenado produzido pelo rompimento abrupto da barragem implica no rápido esvaziamento do reservatório com a formação de extensa lâmina de líquido sobre o solo, até que seja absorvido. São atingidas áreas produtivas, instalações e eventualmente, pessoas e animais. O processo produtivo é momentaneamente

³ Áreas de sacrifício são locais de baixa sensibilidade ou não que recebem o descarte de efluentes (como a vinhaça), poupando áreas de maior sensibilidade; prioridades de proteção; etc. Essas áreas se tornam completamente inúteis para qualquer outra finalidade (CORAZZA, 2006; MMA, 2002).

interrompido. Na Figura 31 é mostrada a possível área afetada pelo rompimento abrupto da barragem:

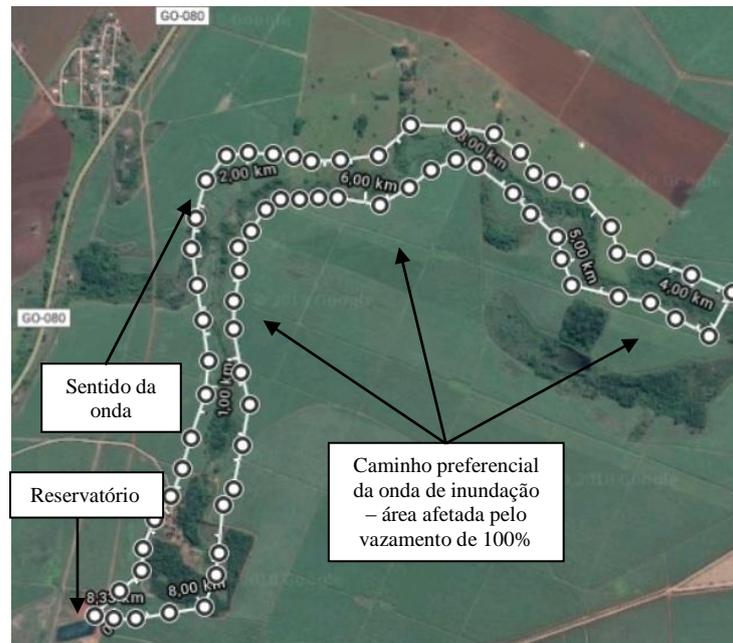


Figura 31: Possível área afetada em caso de rompimento abrupto da barragem de contenção de vinhaça.

Google (Adaptado).

Pela análise do imageamento aéreo da região afetada, percebe-se que a inundação produzida pelo rompimento abrupto da barragem irá atingir um curso d'água imediatamente a jusante do ponto de maior pressão exercida pelo líquido, sendo o seu leito o caminho preferencial da onda de efluente.

Parâmetros associados ao rompimento da barragem, como a velocidade máxima de vazão, largura da brecha e o tempo de esvaziamento do reservatório, são importantes para o dimensionamento da área afetada. Esses valores são calculados com base em equações discutidas no Anexo 3 – Cálculo da Emissão da emissão média de CO₂ em reservatórios de vinhaça e outros GEE, parte B. Na Tabela 28, trazemos os resultados dessas equações para o estudo de caso em desenvolvimento.

Tabela 28: Parâmetros e valores de interesse para análise dos impactos produzidos pelo rompimento de barragens.

Parâmetro	Fontes:	Valor
Tempo de formação da brecha	(AHMADISHARAF <i>et al</i> , 2016; FROEHLICH, DAVID., 1995)	46 minutos e 2 segundos
Largura média da brecha	(AHMADISHARAF <i>et al</i> , 2016; FROEHLICH, DAVID, 1995)	7,12 metros
Vazão de pico	(AHMADISHARAF <i>et al</i> , 2016; FROEHLICH, DAVID, 1995)	89,31 metros ³ /segundo
Tempo estimado para esvaziamento do Reservatório (considerando a vazão de pico)	$Tempo_{est} = \frac{Volume}{Vazão\ de\ pico}$	Entre 7,47 minutos e 46,2 minutos

Fonte: Elaboração própria.

Estima-se que seja afetado entre 40 a 50 metros de cada margem, em um percurso de até 4.000 metros, atingindo uma área de 700.349 m² (valor fornecido pela aplicação *Google 2018*). Porém, esses eventos provocam outros prejuízos, tangíveis e intangíveis, conforme resumo na Tabela 29, a seguir:

Tabela 29: Matriz de Consequências - Impactos provocados pelo rompimento abrupto da barragem.

Matriz de Consequência		
Impactos		
	Tangíveis	Intangíveis
Diretos	<ul style="list-style-type: none"> Perda temporária ou definitiva de infraestrutura; Custos de reconstrução e reparos; e Paralisação de atividades ou redução no ritmo de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> Risco de fatalidades e/ou lesões; Risco de doenças e contaminação; Efeitos sobre o solo agrícola – perda de produtividade, nascentes afetadas etc.; e Custos de multas e outras cominações pela não observância de normas de <i>compliance</i>.
Indiretos	<ul style="list-style-type: none"> Custos da aquisição ou locação temporária de máquinas e equipamentos para suprir a destruição de infraestrutura; e Custos da revisão dos procedimentos de controle e monitoramento. 	<ul style="list-style-type: none"> Danos a imagem da empresa; Perda de confiança de fornecedores, clientes e órgãos de controle; Danos para a governança da empresa; Responsabilização civil e/ou penal; e Prejuízos a herança histórica da empresa.

Fonte: Spancold *et al* (2012) (Adaptado)

Tem-se área afetada, superior a 700 mil m², com prejuízos para um curso d'água e prejuízos quanto a terras produtivas, formação de empoçamentos devido a baixa permeabilidade do solo na região, que oferecem condições favoráveis para o desenvolvimento de insetos, como, por exemplo, da mosca-de-estábulo (*Stomoxys calcitrans*), intensificando surtos que já são consequência do uso rotineiro da vinhaça na fertirrigação (BARROS, 2017; EMBRAPA, 2009; SEVERIANO *et al*, 2009).

As incertezas envolvidas em eventos de inundação são elevadas, mas pelos efeitos destrutivos da onda de cheia, que carrega juntamente com o efluente outros tipos de resíduos (ESTEVEZ, 2013) e pela dificuldade em se estabelecer a ocupação socioeconômica da área afetada no momento do evento, os riscos associados dificilmente podem ser considerados como aceitáveis (SPANCOLD *et al*, 2012).

Conhecidos os impactos e as probabilidades, o nível de risco pode ser estimado com a aplicação dos critérios *Alarp* na construção da Matriz Impacto vs Probabilidade. Na Tabela 30, a seguir, é resumido o resultado das combinações entre os impactos e probabilidade para cada um dos cenários, e o nível de risco encontrado:

Tabela 30: Nível de risco atribuído considerando a combinação entre a severidade do impacto e a probabilidade.

Evento	Combinação (probabilidade vs impacto)	Nível de Risco
Vazamento de 10%	Provável vs marginal	Grave
Vazamento de 30%	Pouco provável vs. moderado	Grave
Rompimento abrupto da barragem com vazamento de 100%.	Remoto vs. catastrófico	Inaceitável

Fonte: Elaboração própria.

A atribuição dos níveis de risco mostrada na Tabela 23 deve-se, no caso do vazamento de 10%, a elevada frequência para esta ocorrência, embora seus impactos possam ser considerados como marginais. Já o evento de vazamento de 30%, apresenta uma combinação de menor frequência com maiores impactos, o que justifica a atribuição de um nível Grave para ambas as situações.

Os dois cenários exigem medidas para seu controle e monitoramento, pois embora seus efeitos não sejam considerados como de maior impacto, indicam um processo de degradação da estrutura da barragem que pode conduzir a um acidente maior.

Já o evento de vazamento de 100%, por estar associado ao rompimento abrupto da barragem, recebe o nível Inaceitável de risco, em função da possibilidade de levar a perda de vidas ou injúrias graves, elevados prejuízos financeiros e de imagem, riscos legais, e prejuízos ambientais de monta, conforme demonstrado.

Principalmente neste caso, medidas devem ser adotadas para reduzir esses impactos, seja pelo incremento da segurança dos processos ou pela redução no armazenamento da vinhaça.

3.5 Interpretação

Apresentamos na Tabela 31 uma síntese dos resultados encontrados para a operação em regime permanente da instalação:

Tabela 31: Impactos produzidos considerando a operação em regime permanente

Resultados encontrados	Considerando impactos intermediários (kgCO₂eq)	Considerando impactos finais (DALY)	% de participação dos processos sobre as emissões totais (valor aproximado)
Total refinaria	154.577,63	0,216	
Principais processos			
Cogeração	125.538,61	0,1757	81,21
Fermentação	15.814,86	0,0221	10,23
Tratamento do caldo	12.282,08	0,0172	7,94
Reservatório (fluxo elementar)	298,27	0,00401	0,19
Reservatório (capacidade máxima)	13.416,71	0,0172	8,68
Reservatório (capacidade média)	6.708,35	0,0086	3,98

Fonte: Elaboração própria.

Sobre os impactos totais, observa-se que o processo de cogeração responde por praticamente a totalidade das emissões de GEE. No tocante ao reservatório, objeto de estudo mais detalhado, percebe-se que a utilização do fluxo elementar na estimativa produz um resultado pouco representativo, e ao mesmo tempo incorreto, na medida em que o volume armazenado pode ser considerado como significativamente maior. Se adotada uma postura conservadora, podemos assumir o armazenamento de um volume médio, equivalente a 50%

da capacidade de carga, ou 20 mil m³ de vinhaça, com um impacto de aproximadamente 3,98% sobre as emissões totais. É importante destacar que neste caso perde-se a relação entre os valores encontrados e a Unidade Funcional, o que impede o uso desse valor em qualquer outro estudo comparativo que se utilize da ACV tradicional. Neste caso, deve-se utilizar o valor relacionado ao fluxo elementar. Na Tabela 32, apresentamos os resultados encontrados para o evento acidental de interesse:

Tabela 32: Impactos, probabilidades e riscos associados ao evento transiente de interesse

% de vinhaça vazada	Impactos				Probabilidade (% de chance de ocorrência em um ano de atividade da refinaria)	Risco associado ao evento transiente
	Considerando impactos intermediários (kgCO ₂ eq)		Considerando impactos finais (DALY)			
	Emissões produzidas pelo reservatório	Emissões produzidas pelo vazamento	Emissões produzidas pelo reservatório	Emissões produzidas pelo vazamento		
10%	12.075,04	7.909,09	0,015	0,00998	5,80	Grave
30%	9.391,10	23.727,28	0,012	0,0299	3,44	Grave
100%	-	79.090,93	-	0,0998	0,79	Inaceitável

Fonte: Elaboração própria.

Analisando as Tabelas 31 e 32, temos um panorama dos principais resultados do estudo.

3.5.1 Discussão sobre a operação em regime permanente

Discutindo o cenário referente à operação em regime permanente, observamos que embora a comunicação de resultados baseada em fatores de caracterização como kgCO₂eq estejam bem estabelecidos, não traduzem para o público não especializado a completa dimensão dos impactos. Assim, a sua apresentação também em DALY, avançando a discussão para repercussões para a saúde humana, contribui efetivamente para um melhor entendimento da dimensão das repercussões ambientais.

Considerando a contribuição por processo para os impactos ambientais, e sem prejuízo a outras medidas, ações de mitigação podem ser aplicadas principalmente sobre o processo de cogeração, dentro do qual constatamos que a queima do bagaço de cana é relevante, já que para cada tonelada podem ser gerados até 134 kg de CO₂.

A análise das emissões produzidas pelo reservatório mostrou a necessidade de adoção de nova sistemática para a avaliação dos impactos. O volume mássico correspondente ao fluxo elementar é inadequado para a avaliação dessas emissões, já que o volume

armazenado é significativamente maior. Desta forma, o processo adotado permitiu encontrar um valor médio que melhor reflete a situação, mesmo que esse valor não mantenha vínculo com a unidade funcional adotada no estudo.

3.5.2 *Discussão sobre os eventos transientes*

As emissões produzidas pelos cenários transientes – vazamentos de 10%, 30% e 100% do conteúdo do reservatório foram contabilizados considerando os mesmos critérios para as emissões da vinhaça armazenada, ou seja, emissões por kg de massa. Frente às emissões em regime permanente, observamos que os valores dessas emissões não representam um impacto significativo. No pior caso, o vazamento de 100% produz um impacto de pouco mais de 79 mil kgCO₂eq. Contudo, esses eventos produzem importantes impactos quanto analisados outras consequências, o que determinou que o risco associado fosse considerado como grave, para os eventos de vazamento de 10% e 30%, principalmente pela possibilidade de sua evolução para um cenário mais crítico, e de inaceitável, para o vazamento de 100%, pela possibilidade real de causar danos físicos ou até fatalidades. Outros prejuízos associados recomendam a adoção de medidas que possam mitigar esse risco, de forma a garantir, na medida do possível, a segurança da instalação.

3.5.3 *Relacionamento das emissões crônicas e transientes*

O objetivo dessa análise é entender o risco ambiental potencial da instalação analisada. Assim, na medida em que obtivemos o impacto crônico, que representa o prejuízo ambiental da emissão de GEE pela operação em regime permanente da indústria, temos o impacto potencial representado pela possibilidade de ocorrência de um evento transiente. Considerando o pior cenário (vazamento de 100%), o valor obtido de impacto se esgota em 13 horas. Considerando que a estimativa de probabilidade de ocorrência considerou um período de um ano, temos 9,03 kgCO₂eq ou $1,14 \times 10^{-5}$ DALY de impacto por hora/ano, que se soma ao impacto crônico.

Desta forma, trazemos uma visão temporal para o evento crônico calculado por meio de ACVR. Já a dimensão espacial, neste caso, pode ser recuperada a partir de uma análise dos impactos tangíveis e intangíveis associados aos eventos transientes, já que PAG e Mudanças Climáticas não afetam o ecossistema local, mas tem reflexos globais. Caso contrário, uma análise sobre o ecossistema local ou regional afetado atenderia a esse propósito.

3.5.4 Medidas de mitigação de impacto ambiental e risco

Discutimos na sequência, embora de forma superficial, proposta de ação que busca enfrentar esse desafio de forma simultânea. Sem prejuízo de outras medidas, sugere-se desenvolver rotas alternativas para o tratamento da vinhaça e para o uso do bagaço de cana de açúcar, conforme Figuras 32 e 33, abaixo:

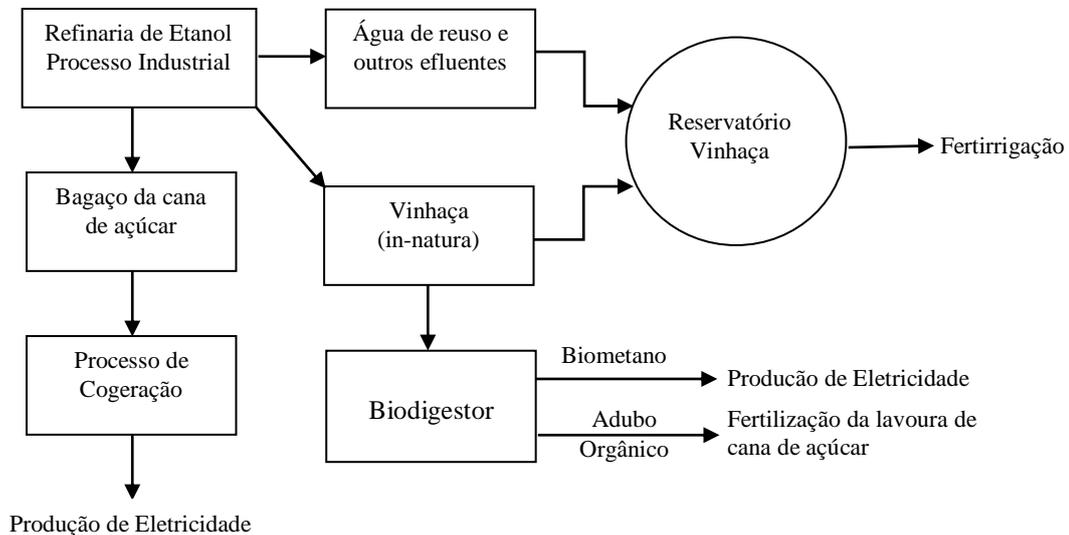


Figura 32: Inclusão de Biodigestor como processo adicional para o tratamento e aproveitamento da vinhaça

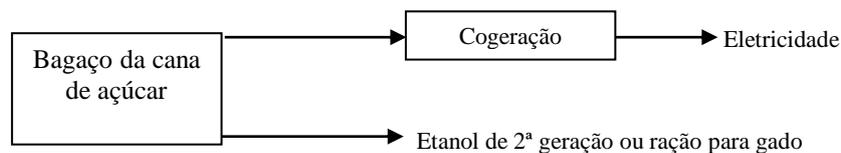


Figura 33: Aproveitamento alternativo do bagaço de cana de açúcar para alimentação animal ou produção de etanol de 2ª geração, em paralelo a cogeração

A introdução de biodigestores para a produção de eletricidade a partir da vinhaça já vem sendo praticada por diversas refinarias sucroenergéticas, com resultados positivos na mitigação de GEE e na produção de energia (NOGUEIRA et al., 2015; SAWATDEENARUNAT et al., 2016; ZAIAT, 2015), já que a digestão anaeróbica, ou biodigestão, é um dos processos tecnológicos mais adequados no manejo da vinhaça, considerando a adequação ambiental e a recuperação de bioenergia, sem prejuízo significativo no processo de fertirrigação, conforme Fuess *et al.* (2017).

Cada m³ de vinhaça pode produzir até 14 m³ de biometano, que apresentam potencial de geração de energia elétrica entre 17,5 a 20 KW/h (SALOMON et al., 2009), o que demonstra o potencial do biometano, e que para cada m³ de biometano pode ser produzido entre 1,25 a 1,43 KW/h, esse efluente tem potencial como alternativa complementar na produção de eletricidade. Por outro lado, nos processos de cogeração a energia produzida para cada tonelada de cana de açúcar queimada é estimada em 0,5 MW/h, o que traz uma relação custo-benefício entre as alternativas de clara vantagem ao processo tradicional, porém a um custo ambiental significativamente maior. A produção de biometano contribui para reduzir a demanda sobre a estrutura de cogeração, mitigando a necessidade de queima intensiva do bagaço da cana de açúcar, cujo volume excedente pode ser utilizado para a produção de etanol de 2ª geração ou mesmo para a alimentação de gado.

Já para os eventos de vazamento parciais o principal foco de prevenção deve concentrar-se em atividades de monitoramento periódico e ações de manutenção preventiva e corretiva.

3.6 Comunicação e monitoramento

A atividade nesta etapa contempla dois momentos: inicialmente todos os resultados obtidos na aplicação da ACVR devem ser comunicados de forma clara, objetiva e acessível a todos os interessados, internos e externos, por meio de publicações adequadas para cada público. Assim, além de tornar transparentes os resultados obtidos, as medidas e objetivos a alcançar, incrementa-se a confiança de consumidores, reguladores e da sociedade.

As atividades de monitoramento a serem desenvolvidas devem atender a duas necessidades: inicialmente, o acompanhamento de parâmetros como o volume do efluente armazenado no reservatório, como forma de garantir que a situação de overtopping possa ser evitada, o acompanhamento das condições de conservação das estruturas da barragem, entre outras medidas.

Outra iniciativa compreende a atividade de monitoramento das emissões ambientais. Walz (2000) destaca diversas estratégias para a construção de indicadores de qualidade ambiental. Adotamos como indicador de qualidade ambiental para o contexto analisado as emissões em regime permanente, já que assumimos que esses valores foram adequadamente medidos e representam valores aceitos pela sociedade, órgãos reguladores e gestores. Intervenções sobre as tecnologias instaladas, a introdução de novos processos ou insumos irão

necessariamente modificar esses valores no tempo, indicando a necessidade ou não de revisão das modificações implementadas.

A construção de um inventário com as informações coletadas no tempo contribui para a realização futura de novas aplicações de ACVR, além de informar aos reguladores o compliance da empresa com normas e regulamentos ambientais e de segurança.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo de propor metodologia que permita integrar em ACV técnicas de Gestão de Risco - GR, de forma que a partir de um único ICV seja possível se estimar impactos ambientais crônicos e transientes com base em categorias de impacto, e ainda se atribuir um nível de risco para cada um dos cenários transientes estudados, foi apresentada a metodologia ACVR – Avaliação do Ciclo de Vida e Risco.

Justifica-se a iniciativa pelo fato de ACV apresentar recursos consagrados para a realização de balanços de massa e energia, produzindo resultados sobre impactos ambientais de ampla aceitação. Já a Gestão de Riscos fornece um ferramental adequado para a estimativa de probabilidades, avaliação de outros impactos que não os ambientais, e a definição de níveis de risco de possíveis eventos transientes. Assim, vemos ACV e a Gestão de Riscos como complementares na avaliação de riscos e impactos tecnológicos.

A estrutura adotada em ACVR busca equacionar problemas enfrentados por outras metodologias anteriormente propostas, pois:

- Preserva os recursos originais das ferramentas de origem, garantindo a qualidade dos resultados encontrados;
- É flexível o bastante para comportar demandas de diferentes aspectos;
- Não está focada em nichos ou tecnologias específicas, e;
- Seus resultados, quanto aos aspectos ambientais, são apresentados na forma de indicadores de categoria de impacto, permitindo melhor análise por parte de especialistas e gestores.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a uma refinaria sucoenergética, estimando-se os impactos ambientais da operação em regime permanente e de cenários transientes voltados ao principal reservatório de vinhaça da instalação, considerando as categorias de impacto Potencial de Aquecimento Global, para uma abordagem voltada ao problema, e Mudanças Climáticas, para avançar o estudo para uma abordagem voltada ao dano final. O relacionamento entre as categorias de impacto foi demonstrado e a aplicação das duas abordagens considerada positiva para uma melhor compreensão dos resultados.

A modelagem tecnológica da instalação foi construída por meio do aplicativo Gabi Education, cujas ferramentas internas de parametrização permitem simular a partir do ICV

construído para a avaliação da operação em regime permanente os eventos transientes de interesse, mostrando a funcionalidade do processo de ACVR em uma situação prática.

No estudo de caso realizado, observou-se para o cenário de operação em regime permanente um impacto total superior a 150 mil kgCO₂eq, ou 0,2 DALY. Entre os processos que mais contribuem para essas emissões destaca-se a cogeração, responsável por mais de 80% do total das emissões de GEE. Neste caso, identificamos a queima do bagaço de cana de açúcar como o principal contribuinte para as emissões. Neste estudo, identificamos a necessidade de desenvolvimento de técnica adequada para a avaliação dos impactos produzidos pelo reservatório de vinhaça, uma vez que verificamos que o volume mássico correspondente ao fluxo elementar não era compatível com o volume médio armazenado.

Utilizando os recursos fornecidos pelo software Gabi Education, foram simulados no ICV os eventos transientes de vazamentos de 10%, 30% e 100% da vinhaça armazenada no reservatório, sendo que no último caso simulou-se o rompimento abrupto da barragem de contenção do efluente e a formação de onda de inundação.

Os cenários transientes de vazamentos parciais e total de efluente não contribuem de forma significativa para as emissões, frente aquelas produzidas pela operação em regime permanente, principalmente se considerarmos o caráter temporário desses eventos.

O valor encontrado para o vazamento de 100% do efluente foi de pouco mais de 79 mil kgCO₂eq emitidos ao longo de 13 horas, ou 9 kgCO₂eq/hora, ao longo de um ano, valor que pode ser considerado como pouco importante frente as emissões em regime permanente. Por outro lado, a partir da estimativa de probabilidade envolvida e da identificação de outros impactos associados a esses eventos foi possível se estabelecer um nível de risco para cada situação. Os vazamentos parciais foram classificados como sendo graves, e o total, quando associado ao rompimento abrupto da barragem de contenção, foi classificado como inaceitável, exigindo assim medidas para a sua mitigação.

Concluimos que ACVR obteve sucesso em permitir a avaliação de impactos ambientais crônicos e transientes de maneira integrada, permitindo avançar na integração entre ACV e a Gestão de Risco.

Embora ACVR permita imediata aplicação em outros contextos, recomendamos a realização de novos estudos para a introdução de forma adequada no ICVR de dados e

informações provenientes de novos campos do conhecimento, como a nanotecnologia, a engenharia genética, entre outros, que por sua complexidade exigem novas formas de entendimento para a gestão de balanços de massa e energia. O desenvolvimento de novos fatores de caracterização voltados para a estimativa de riscos, apesar de ser uma das fronteiras iniciais da integração entre ACV e a Gestão de Riscos, ainda pode oferecer oportunidade de pesquisa, pois permitem ampliar o entendimento entre as duas ferramentas.

REFERÊNCIAS

ABDO, H.; FLAUS, J-M.; MASSE, F. Uncertainty quantification in risk assessment - Representation, propagation and treatment approaches: Application to atmospheric dispersion modeling. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2017. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950423017304746>>.

ABNT 31010. ABNT NBR ISO 31010 - Gestão de riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos. . [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

AHMADISHARAF, Ebrahim et al. A probabilistic framework for comparison of dam breach parameters and outflow hydrograph generated by different empirical prediction methods. *Environmental Modelling and Software*, v. 86, p. 248–263, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.09.022>>.

AIRMIC. A Risk Management Standard AIRMIC. 2002. 1-6 f. 2002. Disponível em: <www.theirm.org>.

ALE, B J M; HARTFORD, D N D; SLATER, D. ALARP and CBA all in the same game. *Safety Science*, v. 76, p. 90–100, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.012>>.

ANDERI, Gil et al. Avaliação do Ciclo de vida - terminologia ontológica. Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - Ibict, 2014. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/presentation_papers/Presentation_2013/Introducao_a_ACV.pdf>.

ARPORN PONG, Noulkamol et al. Life cycle assessment of palm oil microemulsion-based biofuel. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 20, n. 7, p. 913–926, 2015.

AVEN, Terje. Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management. *Risk Analysis*, v. 32, n. 10, p. 1647–1656, 2012a.

AVEN, Terje. On the meaning of a black swan in a risk context. *Safety Science*, v. 57, p. 44–51, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.01.016>>.

AVEN, Terje. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>>.

AVEN, Terje. Selective critique of risk assessments with recommendations for improving methodology and practise. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 96, n. 5, p. 509–514, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2010.12.021>>.

AVEN, Terje. The risk concept-historical and recent development trends. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 99, n. 951, p. 33–44, 2012b. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2011.11.006>>.

AYRES, Robert U; ROHATGI, Pradeep K. Bhopal - Lessons for decision makers. *Technology in society*, v. 9, p. 19–45, 1987.

BANDO, Fernando Mucio; MARQUES, Jair Mendes; PATIAS, Josiele. Análise probabilística de árvore de falhas na gestão de segurança de barragens - Bloco D38 da barragem de Itaipu. 2015, Foz do Iguaçu - Pr: [s.n.], 2015. p. 1–14.

BARBERIO, Grazia et al. Combining life cycle assessment and qualitative risk assessment: The case study of alumina nanofluid production. *Science of the Total Environment*, v. 496, p. 122–131, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.135>>.

BARE, J. C. et al. Life cycle impact assessment workshop summary. Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 5, n. 6, p. 319–326, 2000.

BARROS, Thadeu. Surtos de moscas de estabulo são discutidos em workshop. Embrapa, 2017. , p. 2. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/29271761/surtos-por-mosca-dos-estabulos-sao-discutidos-em-workshop>>.

BASANTA, R. et al. Sostenibilidad Del Reciclaje De Residuos De La Agroindustria Azucarera: Una Revisión Sustainable Recycling of Waste From Sugarcane Agroindustry: a Review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 5, n. 4, p. 293–305, 2007. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11358120709487704>>.

BAYBUTT, Paul. The ALARP Principle in Process Safety. *Process Safety Progress*, v. 33, n. 1, 2013. Disponível em: <online 23 April 2013 in Wiley Online Library>.

BEALE, C J. Uncertainty in the Risk Assessment Process – the Challenge of Making Reasonable. *Business Decisions Within the Framework of the*. n. 151, p. 1–15, 2006.

BNDES; CGEE. Bioetanol de Cana-de-Açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BONSUCRO. A guide to Bonsucro. Better Sugar Cane Initiative Ltd. [S.l: s.n.]. , 2013.

BRANDSÆTER, Audun. Risk assessment in the offshore industry. *Journal of Safety Science*, v. 40, p. 231–269, 2002.

BRICKER, Jeremy D. et al. Performance of Models for Flash Flood Warning and Hazard Assessment: The 2015 Kali Gandaki Landslide Dam Breach in Nepal. *Mountain Research and Development*, v. 37, n. 1, p. 5–15, 2017. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00043.1>>.

CAIRNS, George; GOODWIN, Paul; WRIGHT, George. A decision-analysis-based

framework for analyzing stakeholder behaviour in scenario planning. *European Journal of Operational Research*, v. 249, n. 3, p. 1050–1062, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715006669>>.

CARVALHO, Laercio Alves et al. Caracterização hidráulica de um Latossolo vermelho associada à caracterização pedológica do perfil. *Ciencia Rural*, v. 37, n. 4, p. 1008–1013, 2007.

CAVALETT, Otavio et al. *Sugarcane Life Cycle Inventory*. São Paulo: Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory, Brazilian Center of Research in Energy and Materials (CTBE/CNPEM), 2012.

CETESB. Norma técnica Cetesb P4.261 - Risco de acidentes de origem tecnológica - Método para decisão e termos de referência. São Paulo: Cetesb, 2014.

CHEMWENO, Peter et al. Development of a risk assessment selection methodology for asset maintenance decision making: An analytic network process (ANP) approach. *International Journal of Production Economics*, v. 170, p. 663–676, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.017>>.

CIROTH, Andreas. Cost data quality considerations for eco-efficiency measures. *Ecological Economics*, v. 68, n. 6, p. 1583–1590, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.08.005>>.

CLUZEL, François et al. Exploitation scenarios in industrial system LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 19, n. 1, p. 231–245, 2014.

CONAMA. Resolução CONAMA no 1, de 23 de janeiro de 1986. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção I. Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos, p. 636–639, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>.

CONCIANI, Wilson. *Processos erosivos: conceitos e ações de controle*. Cuiabá - MT: Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, 2008.

CORAZZA, Rosana Icassatti. Impactos Ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação? XLIV Congresso da Sober “Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento”, p. 1–16, 2006.

COX, Tony; THOMPSON, Kimberly M. *SRA glossary*. Society for risk analysis. Committee on Foundations of risk analysis. [S.l.: s.n.]. 2015.

CRESPO, Natalia; BUENO, Cristiane; ROBERTO, Aldo. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida : revisão dos principais métodos. *Production*, v. 26(1), p. 160–175, 2015.

DA ROSA, Fabricia Silva et al. Environmental impact management of Brazilian companies: Analyzing factors that influence disclosure of waste, emissions, effluents, and other impacts. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 148–160, 2015.

DARBRA, R M; ELJARRAT, E; BARCELÓ, D. How to measure uncertainties in environmental risk assessment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, v. 27, n. 4, p. 377–385, 2008.

DAI, Qianwei et al. Detection of concrete dam leakage using an integrated geophysical technique based on flow-field fitting method. *Journal of Applied Geophysics*, v. 140, p. 168–176, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.03.013>>.

DE OLIVEIRA, Bruna Gonçalves et al. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. *Geoderma*, v. 200–201, p. 77–84, 2013.

DI NICOLA, Andrea; MCCALLISTER, Andrew. Existing experiences of risk assessment. *European Journal on Criminal Policy and Research*, v. 12, n. 3–4, p. 179–187, 2006.

DOBRIC, Vladimir; GARMIRIAN, Parricia. A new proof of the central limit theorem. working paper. [S.l.]: Department of Mathematics, Lehigh University, 2015.

DUFOUR, Javier et al. Comparative life cycle assessment of biodiesel production from cardoon (*Cynara cardunculus*) and rapeseed oil obtained under Spanish conditions. *Energy and Fuels*, v. 27, n. 9, p. 5280–5286, 2013.

EMBRAPA. Surtos de mosca-dos-estábulo em propriedades sucroalcooleiras e de produção pecuária. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/29271761/surtos-por-mosca-dos-estabulos-sao-discutidos-em-workshop>>. 2009.

ESTEVEVES, Danilo Pontes. Estudo da inundação e propagação da onda de cheia proveniente do rompimento hipotético de uma barragem. 2013. 81 f. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2013.

FANG, Kai; HEIJUNGS, Reinout. Investigating the inventory and characterization aspects of footprinting methods: Lessons for the classification and integration of footprints. *Journal of Cleaner Production*, v. 108, p. 1028–1036, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.086>>.

FAO. Manual sobre pequenas barragens de terra. Roma, Italia: FAO, 2011.

FELEGEANU, DANIEL-CĂTĂLIN; NEDEFF, VALENTIN; PANAINTE, MIRELA. Analysis of Technological Risk Assessment Methods in Order To Identify Definitory Elements for a New Combined/Complete Risk Assessment Method. *Journal of Engineering Studies & Research*, v. 19, n. 3, p. 32–43, 2013. Disponível em: <<https://ezp.lib.unimelb.edu.au/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aci&AN=92082921&site=eds-live&scope=site>>.

FENG, Zheng Yi. The seismic signatures of the surge wave from the 2009 Xiaolin landslide-dam breach in Taiwan. *Hydrological Processes*, v. 26, n. 9, p. 1342–1351, 2012.

FERDOUS, Refaul et al. Handling and updating uncertain information in bow-tie analysis.

Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 25, n. 1, p. 8–19, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2011.06.018>>.

FERREIRA, Jose Vicente Rodrigues Ferreira. Análise de ciclo de vida. Viseu, Portugal: Instituto Politecnico de Viseu, 2004.

SILVA FILHO, Augusto Souza da. Inferência Em Amostras Pequenas : Métodos Bootstrap. Revista de Ciencias Exatas e Tecnologia, v. 5, n. 5, p. 115–126, 2010.

FLAGE, Roger et al. Concerns, Challenges, and Directions of Development for the Issue of Representing Uncertainty in Risk Assessment. Risk Analysis, v. 34, n. 7, p. 1196–1207, 2014.

FRISCHKNECHT, Rolf; NIELS, Jungbluth. Overview and Methodology - Data v2.0. Ecoinvent Report No1, v. 1, n. 1, p. 1–77, 2007. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/01_OverviewAndMethodology.pdf>.

FROEHLICH, David. Embankment dam breach parameters and their uncertainties. Hydraulic Eng, v. 134, n. December, p. 1708–1721, 2008.

FROEHLICH, David. Froehlich_1995_Embankment dam breach parameters revisited.pdf. Water Resources Management, n. January 1995, p. 887–892, 2016.

FROEHLICH, David C. Peak outflow from breached embankment dam. v. 121, n. 5766, p. 90–97, 1995.

FUESS, Lucas Tadeu et al. Designing full-scale biodigestion plants for the treatment of vinasse in sugarcane biorefineries: How phase separation and alkalization impact biogas and electricity production costs? Chemical Engineering Research and Design, v. 119, p. 209–220, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2017.01.023>>.

GABATHULER, Heinz. LCA History: Centrum voor Milieukunde Leiden (CML). The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 2, n. 4, p. 187–194, 1997. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02978413>>.

GAN, Yantai et al. Carbon footprint of spring wheat in response to fallow frequency and soil carbon changes over 25 years on the semiarid Canadian prairie. European Journal of Agronomy, v. 43, p. 175–184, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.07.004>>.

GOEDKOOPE, Mark et al. ReCiPe 2008. A LCIA method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Characterisation. [S.l: s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf>.

GRIEGER, Khara D. et al. Analysis of current research addressing complementary use of life-cycle assessment and risk assessment for engineered nanomaterials: Have lessons been learned from previous experience with chemicals? Journal of Nanoparticle Research, v. 14, n.

7, p. 23, 2012.

GUIKEMA, S D; AVEN, T. Is ALARP applicable to the management of terrorist risks? *Reliability Engineering and System Safety*, v. 95, n. 8, p. 823–827, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2010.03.007>>.

HARDER, Robin et al. Review of environmental assessment case studies blending elements of Risk Assessment and Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology*, v. 49, n. 22, p. 13083–13093, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b03302>>.

HAUSCHILD, Michael Z. et al. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 3, p. 683–697, 2013.

HAWTHORNE, Monique Lee. Confronting toxic work exposure in China: the precautionary principle and burden shifting. *Environmental Law*, v. 37, n. 151, p. 151–172, 2007.

HE, Yanyan; MIRZARGAR, Mahsa; KIRBY, Robert M. Mixed aleatory and epistemic uncertainty quantification using fuzzy set theory. *International Journal of Approximate Reasoning*, v. 66, p. 1–15, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijar.2015.07.002>>.

HEIJUNGS, REINOUT; HUIJBREGTS, Mark A.J. A review of approaches to treat uncertainty in LCA. 2004, Osnabrueck, Germany: iEMSs 2004 International Congress: Complexity and Integrated Resources Management, 2004. p. 332–339.

HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; GUINÉE, J. A scientific framework for LCA. Deliverable D15 of the CALCAS project (<http://www.calcasproject.net> or <http://www.estis.net/sites/calcas/>). [S.l.: s.n.], 2009.

HEIJUNGS, Reinout; SUH, Sangwon. *The computational structure of Life Cycle Assessment*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.

HERRMANN, Ivan T.; MOLTESEN, Andreas. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? - A comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, v. 86, p. 163–169, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>>.

HERTWICH, Edgar G. Addressing biogenic greenhouse gas emissions from hydropower in LCA. *Environmental Science and Technology*, v. 47, n. 17, p. 9604–9611, 2013.

HOLLNAGEL, Erik. The changing nature of risk. *Ergonomics Australia Journal*, v. 82, n. 5, p. 1–22, 2008. Disponível em: <<http://proxy2.hec.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=62169228&lang=fr&site=bsi-live>>.

HU, Jiang; MA, Fuheng. Evaluation of remedial measures against foundation leakage

problems of earth dams on pervious conglomerate strata: a case study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 75, n. 4, p. 1519–1540, 2016.

HUIJBREGTS, Mark A.J. et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, n. 2, p. 138–147, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>>.

IBARRA-HERNÁNDEZ, Eusebio V et al. Caracterización Y Usos De Las Técnicas Cuantitativas De Valoración De Riesgos En Los Procesos Químicos Industriales. *Characterization and Uses of the Quantitative Techniques for Risk Assessment in Industrial Chemical Processes.*, v. 42, n. 4, p. 26–36, 2015. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=110804728&lang=es&site=ehost-live>>.

ISLAM, Rakibul; KHAN, Faisal; VENKATESAN, Ramchandran. Real time risk analysis of kick detection: Testing and validation. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 161, n. December 2016, p. 25–37, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.12.014>>.

ISMAEEL, Walaa S.E. Midpoint and endpoint impact categories in Green building rating systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 182, p. 783–793, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.217>>.

JARKE, Matthias; BUI, X. Tung; CARROLL, John M. Scenario Management: An Interdisciplinary Approach. *Requirements Engineering*, v. 3, n. 3–4, p. 155–173, 1998.

JCGM. Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição. *Inmetro*, v. 1, p. 126, 2008.

JOHN, Astrid C. et al. Emissions and possible environmental Implication of engineered nanomaterials (ENMs) in the atmosphere. *Atmosphere*, v. 8, n. 5, p. 1–29, 2017.

JONES-LEE, M.; AVEN, T. ALARP - What does it really mean? *Reliability Engineering and System Safety*, v. 96, n. 8, p. 877–882, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2011.02.006>>.

JRC. International reference Life Cycle Data system (ILCD) handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. [S.l.]: Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. Disponível em: <<http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf>>.

KHAN, Faisal I.; SADIQ, Rehan; HUSAIN, Tahir. GreenPro-I: A risk-based life cycle assessment and decision-making methodology for process plant design. *Environmental Modelling and Software*, v. 17, n. 8, p. 669–692, 2002.

KIM, Seungdo; OVERCASH, Michael. Energy in chemical manufacturing processes: Gate-to-gate information for life cycle assessment. *Journal of Chemical Technology and*

Biotechnology, v. 78, n. 9, p. 995–1005, 2003.

KLOPROGGE, Penny; VAN DER SLUIJS, Jeroen P.; PETERSEN, Arthur C. A method for the analysis of assumptions in model-based environmental assessments. *Environmental Modelling and Software*, v. 26, n. 3, p. 289–301, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.06.009>>.

KORTOV, V.; USTYANTSEV, Yu. Chernobyl accident: Causes, consequences and problems of radiation measurements. *Radiation Measurements*, v. 55, p. 12–16, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.05.015>>.

LEE, Bau Shian; YOU, Gene Jiing Yun. An assessment of long-term overtopping risk and optimal termination time of dam under climate change. *Journal of Environmental Management*, v. 121, p. 57–71, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.025>>.

LEUNG, Brian; STEELE, Russell J. The value of a datum - how little data do we need for a quantitative risk analysis? *Diversity and Distributions*, v. 19, n. 5–6, p. 617–628, 2013.

LI, Yiping; CHEN, Jianwen; FENG, Ling. Dealing with uncertainty : a survey of theories and practices. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 25, n. 11, p. 1–25, 2014.

LINKOV, Igor et al. Integrate life-cycle assessment and risk analysis results, not methods. *Nature Nanotechnology*, v. 12, n. 8, p. 740–743, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2017.152>>.

LIU, Lin; YU, Eric. Designing information systems in social context: A goal and scenario modelling approach. *Information Systems*, v. 29, n. 2, p. 187–203, 2004.

MATTHEWS, H Scott; LAVE, Lester; MACLEAN, Heather L. Life Cycle Impact Assessment : A Challenge for Risk Analysts. *Risk Analysis*, v. 22, n. 5, p. 853–860, 2002.

MARIN, M P A et al. Análise de riscos e consequências em uma usina sucroalcooleira. *The Journal of Engineering and Exact Sciences - JCEC*, v. 3, n. 2, p. 174–183, 2017.

MCCUEN, Richard H. *Hydrologic analysis and design*. [S.l: s.n.], 1998.

MIETTINEN, Pauli; HÄMÄLÄINEN, Raimo P. How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA). *European Journal of Operational Research*, v. 102, n. 2, p. 279–294, 1997.

MILAZZO, Maria Francesca; SPINA, Francesco. The use of the risk assessment in the life cycle assessment framework. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 26, n. 3, p. 389–406, 2015. Disponível em: <<http://nebulosa.icesi.edu.co:2149/doi/full/10.1108/MEQ-03-2014-0045>>.

MIRASGEDIS, S. et al. Environmental damage costs from airborne pollution of industrial activities in the greater Athens, Greece area and the resulting benefits from the introduction of BAT. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 28, n. 1, p. 39–56, 2008.

MMA. Especificações e Normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo. Brasília DF: Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental Departamento de Qualidade Ambiental na Indústria Gerência de Qualidade Costeira e do Ar, 2002.

MODICA, Marco; ZOBOLI, Roberto. Vulnerability, resilience, hazard, risk, damage, and loss: A socio-ecological framework for natural disaster analysis. *Web Ecology*, v. 16, n. 1, p. 59–62, 2016.

NETO, Elias, Andre. Estado da arte da vinhaça. Unica, União da Indústria da Cana-de-Açúcar. São Paulo: Unica, 2005.

NIELSEN, Jens Christian et al. Correction to: Industrial antifoam agents impair ethanol fermentation and induce stress responses in yeast cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, p. 1, 2017.

NIRUPAMA, Niru. Risk and vulnerability assessment: a comprehensive approach. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, v. 3, n. 2, p. 103–114, 2012. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/17595901211245189>>.

NISHIOKA, Y et al. A risk-based approach to health impact assessment for input-output analysis - Part 2: Case study of insulation. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 10, n. 4, p. 255–262, 2005.

NIVOLIANITOU, Z. S.; LEOPOULOS, V. N.; KONSTANTINIDOU, M. Comparison of techniques for accident scenario analysis in hazardous systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 17, n. 6, p. 467–475, 2004.

NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo et al. Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 300–305, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.023>>.

NOVACANA.COM. Disponível em: <www.novacana.com.br>. Acesso em 13. out. 2016.

NÝVLT, Ondřej. Risk Management Methods for Industrial Systems. 2015. 35 f. Czech Technical University in Prague, 2015. Disponível em: <<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/62411>>.

OLIVEIRA, Ana Maria P. F. et al. Certificação no setor sucroenergético: uma análise de indicadores e inserção da ISO 9001 e Bonsucro. *Revista iPecege*, v. 2, n. 2, p. 103, 2016. Disponível em: <<https://revista.ipecge.org.br/Revista/article/view/68>>.

OLIVEIRA, Bruna Gonçalves et al. Methane emissions from sugarcane vinasse storage and transportation systems: Comparison between open channels and tanks. *Atmospheric Environment*, v. 159, p. 135–146, 2017.

OLIVEIRA, Bruna Gonçalves De et al. Greenhouse gas emissions from sugarcane vinasse transportation by open channel: A case study in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 94, p. 102–107, 2015.

OWENS, J. William. Life cycle impact assessment: The use of subjective judgements in classification and characterization. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 3, n. 1, p. 43–46, 1998. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02978451>>.

PAREDES, Debora da Silva. Gases de efeito estufa da vinhaca derivada da produção de álcool de cana de açúcar: emissões por armazenamento, distribuição e fertirrigação. 2015. 118 f. UFRJ/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

PELLECCHIA, Marco; NEGRI, Ilaria. Particulate matter collection by honey bees (*Apis mellifera*, L.) near to a cement factory in Italy. *PeerJ*, v. 6, p. e5322, 2018. Disponível em: <<https://peerj.com/articles/5322>>.

PENNINGTON, David W. et al. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. *Environment International*, v. 30, n. 5, p. 721–739, 2004.

PESONEN, Hanna et al. Framework for scenario development in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 5, n. 1, p. 21–30, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF02978555>>.

PIERAGOSTINI, Carla; AGUIRRE, Pío; MUSSATI, Miguel C. Life cycle assessment of corn-based ethanol production in Argentina. *Science of the Total Environment*, v. 472, p. 212–225, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.012>>.

PIERMATEI, Orestes. Modelo de infiltração em barragens de fundo semi impermeavel. 2006. 124 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

PREZIOSI, Marie-Christine; MICIC, Tatyana. Embankment dam probabilistic assessment for climate scenarios. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, v. 165, n. 3, p. 179–193, 2012. Disponível em: <<http://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/geng.11.00038>>.

REBITZER, Gerald et al. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, v. 30, n. 5, p. 701–720, 2004.

ROCKSTRÖM, Johan et al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, p. 32, 2009.

ROSS, T J; BOOKER, J M; MONTOYA, A C. New developments in uncertainty assessment and uncertainty management. *Expert Systems with Applications*, v. 40, n. 3, p. 964–974,

2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.054>>.

RUIJTERS, Enno; STOELINGA, Mariëlle. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer Science Review*, v. 15, p. 29–62, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosrev.2015.03.001>>.

SALOMON, Karina Ribeiro; SILVA LORA, Electro Eduardo. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 9, p. 1101–1107, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.03.001>>.

SATOSHI, Emilia; SEO, Miyamaru; KULAY, Luiz Alexandre. Avaliação do ciclo de vida : ferramenta gerencial. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*. [S.l: s.n.]. Disponível em: <www.interfacehs.sp.senac.br>. 2006.

SAWATDEENARUNAT, Chayanon et al. Anaerobic biorefinery: Current status, challenges, and opportunities. *Bioresource Technology*, v. 215, p. 304–313, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.074>>.

SCHEER, Dirk et al. The Distinction Between Risk and Hazard: Understanding and Use in Stakeholder Communication. *Risk Analysis*, v. 34, n. 7, p. 1270–1285, 2014.

SCHNEIDER, Paulo Smith. Medição de velocidade e vazão de fluidos. 2011.

SCHOECH, Hartmut; BETZ, Michael. Life cycle assessment (LCA) in strategic risk management. *Journal fo advanced Science*, v. 13, n. 3, p. 203–206, 2001.

SELIGMANN, Benjamin J. et al. A blended hazard identification methodology to support process diagnosis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 25, n. 4, p. 746–759, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2012.04.012>>.

SEVERIANO, Eduardo da Costa et al. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 33, n. 1, p. 159–168, 2009.

SHIH, Hsiu ching; MA, Hwong wen. Life cycle risk assessment of bottom ash reuse. *Journal of Hazardous Materials*, v. 190, n. 1–3, p. 308–316, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.053>>.

SHORTRIDGE, Julie; AVEN, Terje; GUIKEMA, Seth. Risk assessment under deep uncertainty: A methodological comparison. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 159, n. February 2016, p. 12–23, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.10.017>>.

SILVEIRA, Andréa Maria et al. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do Rio Piracicaba. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 35, n. 2, p. 389–399, 2000.

SOARES, Sebastião R.; TOFFOLETTO, Laurence; DESCHÊNES, Louise. Development of weighting factors in the context of LCIA. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 6–7, p. 649–660, 2006.

SINGH, Krischan P.; SNORRASON, Arni. SENSITIVITY OF OUTFLOW PEAKS AND FLOOD STAGES TO THE SELECTION OF DAM BREACH PARAMETERS AND SIMULATION MODELS. *Journal of Hydrology*, v. 68, p. 295–310, 1984.

SONNEMANN, Guido; CASTELLS, Francesc; SCHUHMACHER, Marta. *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for industrial processes*. [S.l.]: CRC Press LLC, 2004.

SPANCOLD; CNEGP. *Technical guide on Risk Analysis applied to management of dam safety*. [S.l: s.n.], 2012. v. 1.

STEVENS, Michael A.; LINARD, Jack. The Safest Dam. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 128, n. 2, p. 139–142, 2002. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9429%282002%29128%3A2%28139%29>>.

STREIMIKIENE, Dalia. Environmental indicators for the assessment of quality of life. *Intellectual Economics*, v. 9, n. 1, p. 67–79, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1822801115000077>>.

SUH, Sangwon; HUPPES, Gjalte. Methods for life cycle inventory of a product. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 7, p. 687–697, 2005.

TAROUN, Abdulmaten. Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. *International Journal of Project Management*, v. 32, n. 1, p. 101–115, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.03.004>>.

THE ROYAL SOCIETY. *Risk: analysis, perception and management*. Londres: The Royal Society, 1992.

TILLMAN, Anne-marie. Significance of decision-making for LCA methodology. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 20, n. 1, p. 113–123, 2000.

TIXIER, J et al. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 15, p. 291–303, 2002.

UNEP. *Life Cycle Assessment. What it is and How to do it*, p. 1–87, 2003. Disponível em: <<papers2://publication/uuid/C59E569D-DC25-43FA-BFB1-27A716FDB9B1>>.

ÚNICA. *A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro*. Disponível em <<http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>>. Acesso em 18. set. 2018.

US DEPARTMENT OF THE INTERIOR. *Prediction of Embankment Dam Breach*

Parameters. . [S.l.]: Water Resources Research Laboratory. , 1998

VESELY, W.E. et al. Fault Tree Handbook (NUREG-0492). Washington, DC.: Division of Technical Information and Document Control, 1981.

VILELA, Frederico Sampaio Vasconcelos. Avaliação do Ciclo de Vida da produção industrial de etanol e açúcar. Estudo de caso: Usina Jalles Machado S/A. 2013. 107 f. 2013.

VINODH, S.; JAYAKRISHNA, K.; JOY, Dino. Environmental impact assessment of an automotive component using eco-indicator and CML methodologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 14, n. 2, p. 333–344, 2012.

WAGHMODE, L. Y.; PATIL, Rajkumar B. An overview of fault tree analysis (FTA) for reliability analysis. *Journal of Engineering Research and Studies*, v. IV, n. March 2013, p. 06–08, 2016.

WALSER, Tobias et al. Indoor exposure to toluene from printed matter matters: Complementary views from life cycle assessment and risk assessment. *Environmental Science and Technology*, v. 48, n. 1, p. 689–697, 2014.

WALZ, Rainer. Development of environmental indicator systems: Experiences from Germany. *Environmental Management*, v. 25, n. 6, p. 613–623, 2000.

WANG, Ren; WORK, Daniel. Application of robust optimization in matrix-based LCI for decision making under uncertainty. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 19, n. 5, p. 1110–1118, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-013-0685-y>>.

WEIDEMA, B.P. Multi-user test of the data quality matrix for product life cycle inventory data. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 3, n. 5, p. 259–265, 1998.

WEIDEMA, B P et al. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. v. 3, n. 1, p. 169, 2013. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/database/methodology-of-ecoinvent-3/methodology-of-ecoinvent-3.html>>.

WIECZOREK-KOSMALA, Monika. A conceptual analysis of current trends in the evolution of Risk Management process. *Trendy ekonomiky a managementu*, p. 156–168, 2011.

WYŻGA, Bartłomiej et al. Comprehensive approach to the reduction of river flood risk: Case study of the Upper Vistula Basin. *Science of the Total Environment*, v. 631–632, p. 1251–1267, 2018.

ZAIAT, Marcelo. Vinhaça para gerar energia. *Revisata FAPESP*, p. 68–71, 2015. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2015/12/068-071_Vinhaca_238.pdf?c30a6f>.

ANEXOS

ANEXO 1 – PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO TECNOLÓGICO DA USINA JALLES MACHADO S.A.

Neste Anexo 1, é discutido o processo adotado para a construção do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A. no aplicativo *GaBi Education*.

Este Anexo 1 está estruturado em duas partes distintas:

Anexo 1 – Parte A – Detalha de forma sucinta a construção do modelo, a partir dos dados primários extraídos de (VILELA, 2013), e complementados/ajustados a partir de informações extraídas da literatura; e,

Anexo 1 – Parte B – Detalha a construção dos planos e processos do modelo final, como forma de permitir a sua análise, entendimento e reprodução a qualquer tempo.

Inicialmente, é apresentado o Anexo 1 – Parte A.

Anexo 1 – Parte A - Detalhamento sucinto da construção do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.

Com o objetivo de estudar a emissão de gases de efeito estufa decorrentes da operação em regime permanente de uma usina sucroalcooleira e do derramamento de vinhaça de lagoa de contenção, foi modelado o sistema tecnológico da Usina Sucroalcooleira Jalles Machado S/A, localizada em Goianésia – GO, com auxílio da ferramenta *GaBi Education*.

Neste processo, os dados relacionados às emissões produzidas pelos diversos processos analisados e os insumos utilizados tiveram as seguintes origens:

- Dissertação de Mestrado, de título “Avaliação do ciclo de vida da produção industrial de etanol e açúcar. Estudo de caso: Usina Jalles Machado S/A”, de autoria de Frederico Sampaio Vasconcelos Vilela, datada de 2013 e disponível no repositório da Universidade de Brasília – UNB, Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica;
- Informações da base de dados do software *GaBi Professional* - vrs. 06, em equipamento disponível na sala de estudos do Laboratório de Energia e Meio Ambiente, localizado no Campus Universitário Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília (DF), no Bloco G, segundo pavimento. O arquivo de dados pode ser

acessado pelo endereço *Gabi / Extensões 2012 / Copy / Cópia/ Plans / Usina Jalles Machado / Fase Industrial 2012 / 2013 / Comparações / Modelo Tecnológico - Fase Industrial – Padrão Moagem 573 t/h_Jalles Machado, datado de 08.03.2013;*

- Pesquisas na literatura, quando adequado.

Os dados originais foram recuperados e cópia da modelagem do sistema de interesse foi replicado na versão *Student* do software *GaBi Education*, utilizando-se a funcionalidade de importação e exportação de dados disponível no software: “*Objeto/Copiar Tudo*” no sistema de origem e “*Objeto/Inserir Tudo*” no sistema de destino, procedendo-se inicialmente a gravação dos dados originais em planilhas do Excel para ajuste do formato das informações e posterior inserção na nova base.

Neste processo, foram preservados os parâmetros globais, parâmetros locais, fórmulas, nome e valores das entradas e saídas de cada um dos fluxos. Adicionalmente, os custos de escoamento, quando disponíveis no modelo original, foram também transferidos para a nova base.

Ao longo do processo de transferência do modelo, foram identificados e adotados os seguintes procedimentos para algumas situações:

- O componente de um fluxo existente na origem não foi identificado na base de destino, o que levou a necessidade de se encontrar um equivalente, ou na criação de um componente novo. Menos de 1% do total de fluxos foi afetado; e
- Quando realizados, arredondamentos em valores informados manualmente ocorreram somente a partir da terceira casa decimal após a vírgula.

Ainda, é verificado que no modelo original que todos os modelos de caminhões utilizados correspondiam somente a dois modelos básicos:

- a) Modelo utilizado em todos os processos, exceto Recepção: caminhão Euro 03, diesel, carga, capacidade 34 a 40 ton., carga útil 27 ton., percursos médios 100 km. (sendo percurso em rodovias: 68%, percursos fora de rodovias: 24%; percursos dentro de cidades: 8%), proporção de enxofre (SO₄) no diesel 50 ppm

(conforme padrão na Europa em 2003), biodiesel adicionado: 0,05%, taxa de utilização 85%; e

- b) Modelo utilizado no processo Recepção: caminhão Euro 03, diesel, carga, capacidade 34 a 40 ton., carga útil 27 ton., percursos médios 40 km. (sendo percurso de 20 km em estradas rurais e 20 em rodovias), proporção de enxofre (SO_4) no diesel 1800 ppm., biodiesel adicionado: 0,05%, taxa de utilização 50%.

Com o objetivo de atualizar o modelo para a realidade do Brasil em 2017 e adequar as distâncias percorridas, os seguintes procedimentos foram observados:

Foi adotado novo conjunto de caminhões com foco na realidade brasileira de 2017:

- Para o processo Recepção: caminhão Euro 04, truck-trailer, diesel, carga, capacidade 34 a 40 ton., carga útil 27 ton., percursos médios de 40 km. (sendo percurso em rodovias: 40%, em zonas rurais 53%, e em zonas urbanas: 7%), proporção de enxofre (SO_4) no diesel 500 ppm, biodiesel adicionado: 0,05%, taxa de utilização 21%. Justifica-se essa situação considerando que para o processo de transporte da cana colhida dentro da área da usina, são utilizados caminhões de idade média para alta, mas de grande capacidade. Os caminhões atingem sua capacidade máxima no campo e retornam vazios após a descarga para novo carregamento.
- Para os processos Tratamento do Caldo, Fermentação, Tratamento da Água, Obtenção de Etanol e Geração de Eletricidade e Vapor: caminhão Euro 04, truck, diesel, carga, capacidade 20 a 26 ton., carga útil 17,3 ton., percursos médios de 500 km. (sendo percurso em rodovias: 70%, em zonas rurais 7%, e em zonas urbanas: 23%), proporção de enxofre (SO_4) no diesel 500 ppm, biodiesel adicionado: 0,05%, taxa de utilização 85%. Justificativa: são caminhões utilizados para entrega de produtos químicos, geralmente a partir cidades como Goiânia, Anápolis, São Paulo ou outros centros distribuidores. Os pequenos volumes entregues em cada destino não justificam a utilização de caminhões de grande porte, exigindo-se equipamentos menores que possam apresentar melhor movimentação em zonas urbanas.

- Para os processos Transporte de Torta de Filtro e de Levedura Seca: caminhão Euro 03, truck, diesel, carga, capacidade 20 a 26 ton., carga útil 17,3ton., percursos médios de 40 km. (sendo percurso em rodovias: 40%, em zonas rurais 53%, e em zonas urbanas: 7%), proporção de enxofre (SO₄) no diesel 500 ppm, biodiesel adicionado: 0,05%, taxa de utilização 50%. Neste caso, observa-se que para o processo de transporte dos produtos resultantes do Tratamento do Caldo (Torta de Filtro) e Fermentação (Levedura Seca) são utilizados caminhões de idade média para alta, de capacidade média, para atividades diversas, principalmente, dentro da própria empresa.
- Para os processos de Transporte de Açúcar e de Etanol: caminhão Euro 05, truck-trailer, diesel, carga, capacidade 34 a 40 ton., carga útil 30 ton., percursos médios de 850 km. (sendo percurso em rodovias: 70%, em zonas rurais 7%, e em zonas urbanas: 23%), proporção de enxofre (SO₄) no diesel 500 ppm., biodiesel adicionado: 0,05%, taxa de utilização 85%. Justificativa: o açúcar produzido pela usina é em parte entregue a distribuidoras instaladas em centros como Anápolis, Goiânia ou outros, e em parte é exportado através do porto de Santos (Jornal O Econômico, matéria publicada em 03.02.2015, Portal Jalles Machado, matéria publicada em 12.01.2011; links visitados em 01.11.2017). Já o álcool produzido é distribuído na própria região da usina por meio de distribuidoras próximas, não tendo sido identificado na literatura informações de exportação desse produto pela empresa, enquanto a “Levedura Seca” resultante dos processos é exportada (Portal Jalles Machado_Exportação de Levedura Seca, visitado em 01.11.2017), porem o seu volume reduzido não demanda fluxo específico de transporte.

E em relação ao diesel, foi utilizado o mix de Diesel existente na versão *Education*, uma vez que se encontra mais atualizada.

Na sequência, são destacados os modelos tecnológicos da empresa de interesse desenvolvidos em cada uma das versões do Gabi, sendo:

- Modelo Original: desenvolvido no software *Gabi*, versão *Professional*, de título “Modelo Tecnológico_Fase Industrial_Padrão_moagem 573 t/h_Jalles Machado”; e

- Novo Modelo: desenvolvido no software *Gabi Education*, ajustado conforme discussão anterior, de título “JM - Modelo Tecnológico_FaseIndustrial_Padrão_moagem 573 t/h_Jalles Machado (Copy)”.

Modelo Tecnológico Fase Industrial _Padrão_moagem 573 t/h_Jalles Machado

Plano de processo GaBi/Quantidades de referência

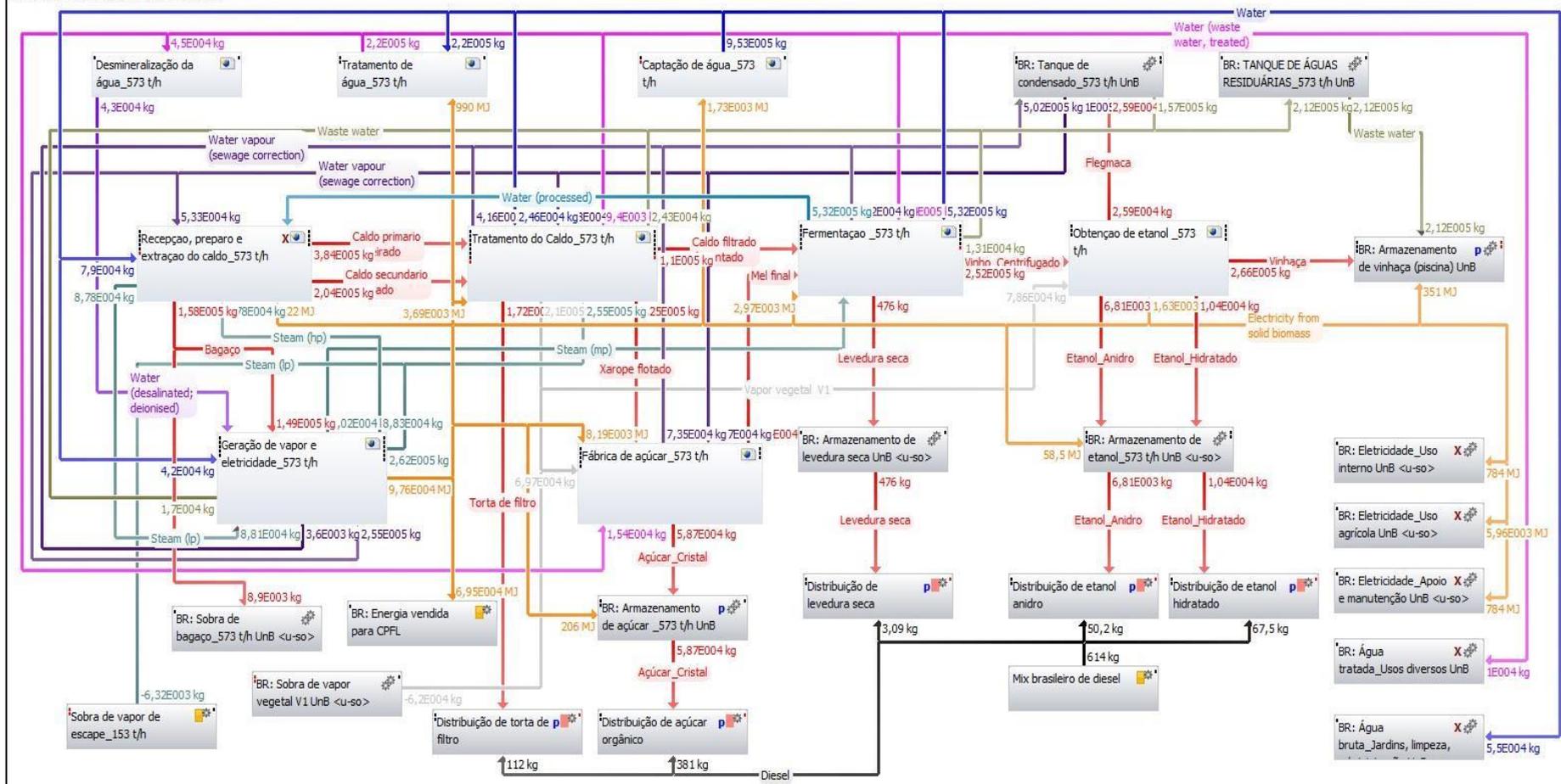


Figura 34: Modelo tecnológico extraído de "Avaliação do ciclo de vida da produção industrial de etanol e açúcar. Estudo de Caso: Usina Jalles Machado S/A" (modelo Original).

Fonte: Vilela (2013).

JM - Modelo tecnológico_Fase Industrial_Padrão_moagem_573 t/h (Copy)

Plano de processo GaBi:Quantidades de referência
Os nomes dos processos básicos são mostrados.

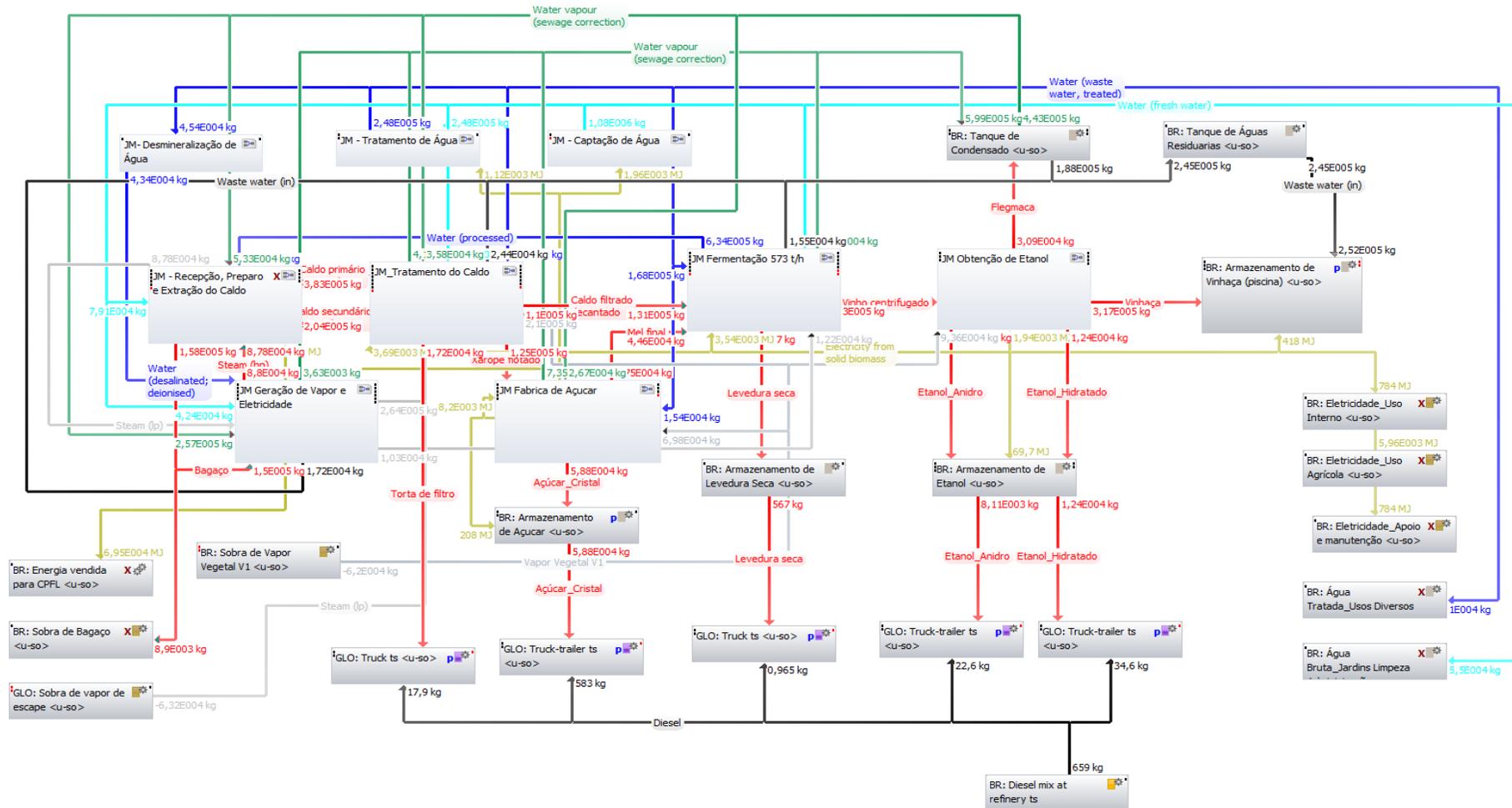


Figura 35: Modelo tecnológico representando o ciclo de vida da produção industrial de etanol e açúcar da Usina Jalles Machado S/A, desenvolvido na GaBi Education

Comparando-se os resultados relativos aos balanços fornecidos pelo *Gabi*, e considerando-se apenas os impactos decorrentes da emissão de gases de efeito estufa (GWP-100 anos, CML 2001), foi encontrado:

Tabela 33: Comparativo de valores entre os modelos Original e Novo (em kg CO₂ equiv.).

Processo	Modelo	
	Original	Novo
Recepção	2,56 x 10 ³	2,14 x 10 ³
Tratamento do caldo	1,22 x 10 ⁴	1,23 x 10 ⁴
Fermentação	1,58 x 10 ⁴	1,58 x 10 ⁴
Geração de vapor e eletricidade	1,26 x 10 ⁵	1,27 x 10 ⁵
Energia vendida para CPFL	(-) 3,6 x 10 ³	(-) 3,6 x 10 ³
Resto	2,79 x 10 ³	4,45 x 10 ³
Total	1,55 x 10 ⁵	1,55 x 10 ⁵

Fonte: Elaboração própria.

No modelo Original, foram utilizados para caminhões, rodovias e demais elementos associados os valores padrões existentes nas bases de dados do *GaBi*. Com as alterações realizadas (adequações nos modelos de caminhões e parâmetros envolvidos), tem-se que o processo “Recepção” apresentou as principais mudanças, porém sem afetar de forma significativa os resultados.

Concluída esta etapa de modelagem, o processo “BR: Armazenamento de vinhaça (piscina)” existente no novo modelo foi adequado aos objetivos do estudo, que é analisar o comportamento das emissões de gases de efeito estufa na ocorrência de eventos transientes nesse reservatório. Assim, foi criado um componente para esse armazenamento “Armazenamento_Aproveitamento_Vinhaça”, associado a dois novos subprocessos:

- 1) “BR: Transiente_vinhaça_menor_100p”, que será utilizado para o estudo de emissões de eventos de vazamentos menores que 100% do volume armazenado; e
- 2) “BR: Transiente_vinhaça_100p”, que será utilizado para o estudo de emissões iguais a 100% do volume armazenado.

O processo “Armazenamento_Aproveitamento_Vinhaça” passa a representar o novo reservatório de vinhaça, acumulando um volume de 40.046,82 m³, em um fluxo constante entre a produção da Indústria (oferta de vinhaça) e as atividades de fertirrigação (demanda de vinhaça). Contido nesse processo, é estruturado todo o fluxo da vinhaça produzido pela Usina Jalles Machado S/A, desde a alimentação da Lagoa 5 até a sua distribuição na lavoura por meio dos diferentes métodos: por meio de dutovias (canais abertos), por caminhões com moto-bombas associadas, e por meio da alimentação de novos armazenamentos intermediários e sistemas de aspersão associados.

Foi integrado a esse processo o controle “BR: Lagoa de contenção – evento de rompimento”, para a gestão das simulações de eventos transientes. Pela manipulação de parâmetros é possível selecionar os volumes de vinhaça que podem vazar do reservatório, em proporções que podem variar de 10% a 100%, permitindo ao software *GaBi* proceder diferentes análises de impacto. Nas figuras abaixo são mostrados os processos destacados:

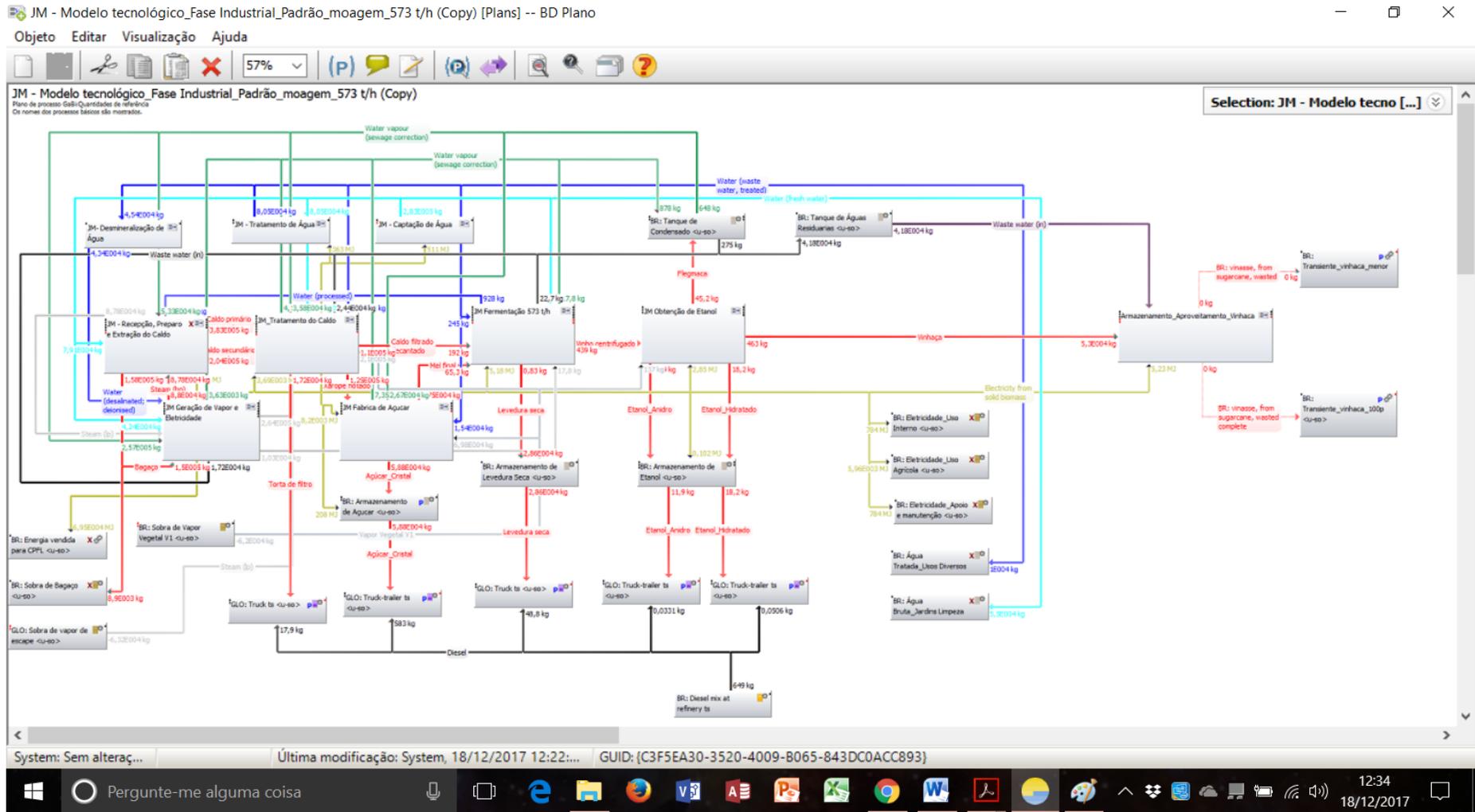


Figura 36: Modelo tecnológico do ciclo de vida da Usina Jalles Machado S/A, desenvolvido para atendimento dos objetivos do estudo (modelo Ajustado).

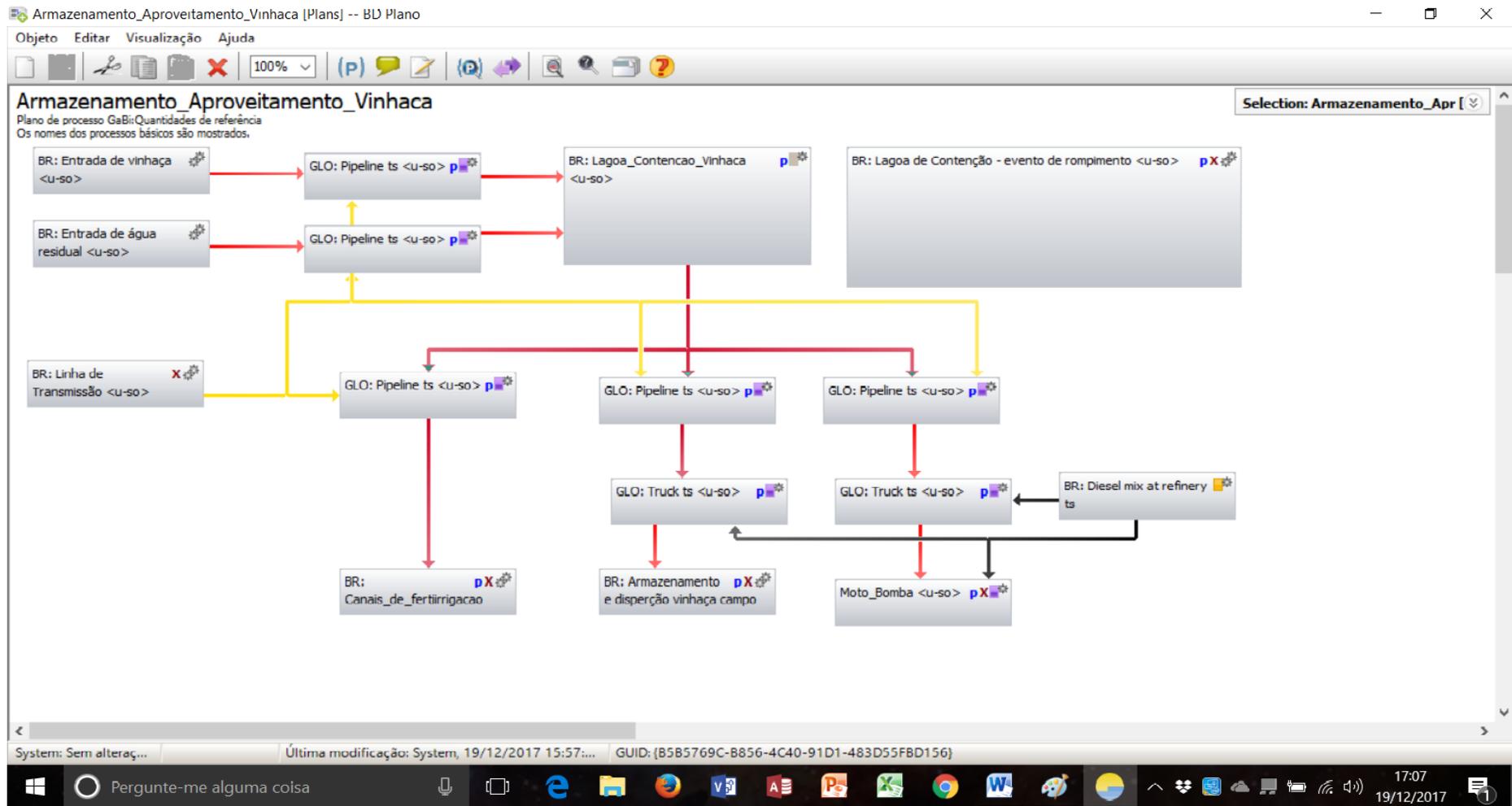


Figura 37: Detalhamento do componente Armazenamento_Aproveitamento_Vinhaça, do modelo Ajustado.

Na sequência deste Anexo 1, é apresentada a sua parte B – Detalhamento do processo de construção de planos e processo do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.

Anexo 1 – Parte B – Discussão sobre o processo de geração de vinhaça e aspectos contaminantes associados a esse efluente

Discute-se agora a tecnologia para a produção de etanol, foco da maioria das usinas brasileiras, que utilizam tecnologias baseadas na chamada rota física, que envolve a recepção da cana de açúcar “*in natura*”, sua limpeza, moagem, fermentação, retificação e desidratação. Todas essas instalações geram eletricidade por meio de processos de cogeração, produzindo ainda um excedente que é vendido às concessionárias locais, podendo ser consideradas como refinarias sucroenergéticas⁴. Porém, essas indústrias produzem um significativo volume de resíduos e outros efluentes, tais como água de reuso, vinhaça, torta de filtro, o próprio bagaço da cana de açúcar, entre outros. Em função dos volumes gerados e da toxicidade de alguns desses efluentes, seu reaproveitamento ou disposição tem sido motivo de preocupação e pesquisas (BASANTA *et al.*, 2007).

De acordo com (NETO, 2005), um dos principais resíduos químicos da produção do etanol é a vinhaça, na proporção de 13 a 15 litros para cada litro de etanol produzido. Trata-se de um efluente considerado contaminante, com capacidade poluidora superior a cem vezes o do esgoto doméstico. Sua composição é rica em matéria orgânica, minerais como potássio (*K*), cálcio (*Ca*), enxofre (*S*), baixo *pH*. Têm elevada corrosividade e índices de demanda bioquímica de oxigênio⁵ – DBO entre 20.000 a 35.000 mg/l. A composição da vinhaça varia de acordo com as características da matéria prima e do processo industrial empregado, sendo hoje integralmente destinada para a fertirrigação do solo agrícola, com uma média de

⁴ Disponível em <http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>, visitado em 18.09.2018.

⁵ Disponível em www.novacana.com.br, visitado em 13.10.2016

aplicação de 100 kg/ano, por hectare. A Figura 1 traz de forma simplificada o processo de armazenamento e distribuição da vinhaça para o processo de fertirrigação:

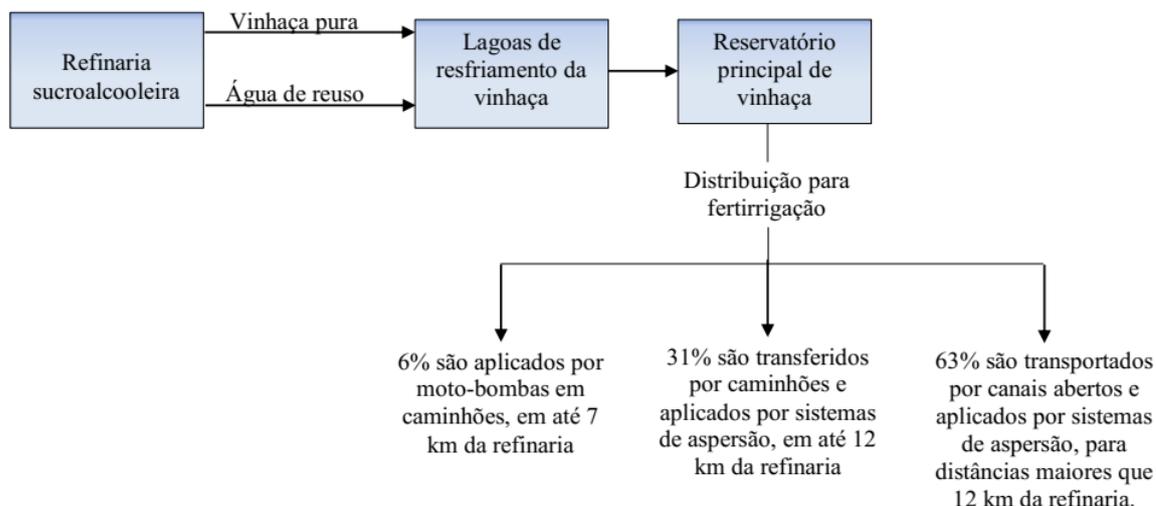


Figura 5: Modelo esquemático simplificado do processo de armazenamento e distribuição de vinhaça
(CAVALETT *et al.*, 2012) (Adaptado)

Porem, mesmo essa destinação apresenta riscos, e deve ser adequada para cada tipo de solo. A aplicação de volumes inapropriados de vinhaça no solo pode levar a desequilíbrios de nutrientes e a saturação de sal, causando a lixiviação de íons de águas subterrâneas, afetando ainda suas propriedades físicas, como a condutividade hidráulica e seu potencial redox. A fauna do solo pode ser afetada, com prejuízo aos serviços ecológicos associados. O acúmulo de vinhaça pode causar empoçamentos, criando ambientes favoráveis para o desenvolvimento de insetos, como, por exemplo, da mosca-de-estábulo (*Stomoxys calcitrans*) (CAVALETT *et al.*, 2012; NETO, 2005).

Para compatibilizar a produção contínua da vinhaça pela indústria e sua utilização na fertirrigação, que atende a outras exigências e demandas, um grande volume desse efluente é mantido em reservatórios e canais a céu aberto, destinados a estabilizar o fornecimento e a distribuição da vinhaça, em um conceito hoje conhecido como “vinhaça *online*”. Contudo, a exposição desse efluente ao meio ambiente propicia a emissão de gases de efeito estufa como o CO₂, N₂O e CH₄, resultado da presença de micro-organismos, resíduos orgânicos e outros

componentes da vinhaça. Essas emissões variam de acordo com o volume, sedimentos presentes e tempo de residência do efluente nos canais e reservatórios (NETO, 2005).

A emissão dos gases CO₂, CH₄ e N₂O pela vinhaça ocorre por meio de fluxos difusivos, através da interface líquido/atmosfera, variando em função da concentração desses gases no efluente e das condições ambientais, e de fluxos ebulitivos, também pela interface líquido/atmosfera, mas influenciado pela digestão anaeróbica nos sedimentos, gerando fluxos de irregulares de bolhas (DE OLIVEIRA, *et al.*, 2013; HERTWICH, 2013; OLIVEIRA, *et al.*, 2015).

Na sequência deste Anexo 1, é apresentada a sua parte B – Detalhamento do processo de construção de planos e processo do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.

Anexo 1 – Parte C - Detalhamento do processo de construção de planos e processos do modelo tecnológico da Usina Jalles Machado S.A.

Para atender aos propósitos deste estudo, o sistema tecnológico da Usina Jalles Machado S.A. foi modelado no software *GaBi Education*.

Foi observada uma abordagem “*gate to gate*”, compreendendo desde a recepção da cana-de açúcar in-natura para processamento até a produção de etano, açúcar e a disposição da vinhaça no reservatório. Desta forma, a fase agrícola do ciclo da cana de açúcar para a produção de açúcar e álcool não foi considerada.

Este documento se organiza conforme abaixo:

- a) Primeiramente, são apresentados os processos associados ao conjunto de atividades principais da Usina sucroalcooleira, a saber: JM_Reception_preparation and broth treatment; JM_Broth_treatment; JM Fermentation 573 t/h; JM Ethanol getting; JM Electricity and steam generation; JM Sugar factory;
- b) Os processos associados a disposição da vinhaça no reservatório constituem-se em um conjunto particular de planos e processos, já que concentram a preocupação central do estudo. Essas atividades são: JM Storage and use vinasse;

JM Transient vinasse smaller 100 percentage; JM Transient vinassa equal 100 percentage; JM Reservoir static situation.

O modelo tecnológico completo da Usina Sucroalcooleira Jalles Machado S.A. é apresentado na Figura 38:

JM - Technological Model_ Industrial phase_ethanol refinery_573 t/h (Copy)

Plano de processo GaBi:Quantidades de referência
Os nomes dos processos básicos são mostrados.

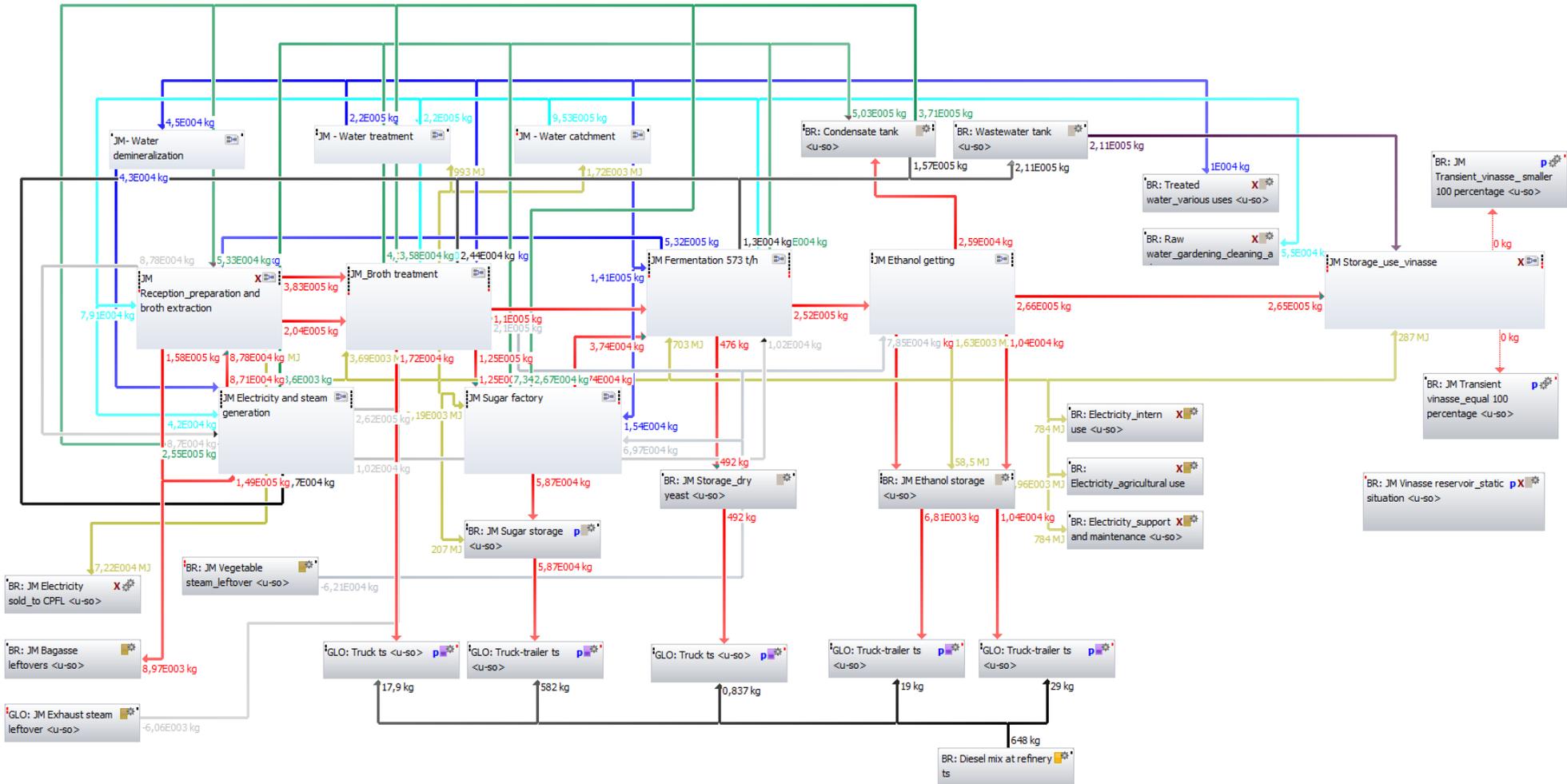


Figura 38: Modelo tecnológico com os principais processos de interesse da refinaria de etanol de interesse, modelado no software *GaBi Education*

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Dentro da Figura 38, é destacado o conjunto de atividades associadas a disposição de vinhaça, conforme abaixo:

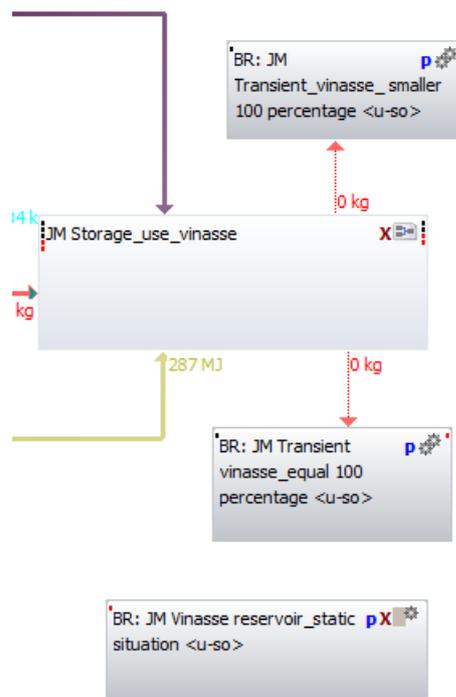


Figura 39 - Segmento do modelo tecnológico da Usina Sucroalcooleira Jalles Machado S.A. destacando atividades associadas ao reservatório de vinhaça

Fonte: Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.

O conjunto destacado na Figura 39 é mostrado em destaque neste documento.

c) Em seguida, os demais processos associados às atividades principais da Usina são discutidos.

Inicia-se a discussão destacando que *GaBi Education* oferece recursos que permitem a construção de parâmetros locais (associados a planos específicos) e globais (válidos para todo o modelo tecnológico).

Os parâmetros locais são informados por plano de interesse. Já os parâmetros globais, preparados para atender aos propósitos do modelo tecnológico construído, são informados na sequência:

Tabela 34: Parâmetros globais de interesse para o estudo – Transiente _vinhaça

Parâmetros Globais					
Nome	Transiente_vinhaça				
Reduzido/curto	trnt_vin				
Parametro	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
densidade	1,143	1	1,2	0%	kl/l de vinhaça
Lagoa_vinhaça	45773515,2	30000000	50000000	0%	[valor em kg] [reservatório: 155,10 m (comprimento)*64,50 m (largura) * 4 m (profundidade) * 1000 * 1,143
Trnt_vin	0	0	0,3	0%	[%] Percentual de vazamento, sendo valor igual a 0,1 para 10% até valor igual 0,3 para 30%.
Trnt_vin100	0	0	1	0%	[on/off] Percentual de vazamento total, sendo 0 sem vazamento, 1 vazamento total.

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 35: Parâmetros globais de interesse para o estudo_ Unidade de referencia_ etanol

Parâmetros Globais					
Nome	Unidade_referencia_etanol				
Reduzido/curto	Etanol_1000l				
Parametro	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
Ethanol_from_sugar_cane_Biomass_fuel	1000				

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 36: Parâmetros globais de interesse para o estudo_Bagaço

Parâmetros Globais					
Nome	Bagaço				
Reduzido/curto	queima				
Parametro	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
MM_C	12			0%	
MM_CO2	44			0%	
PercC_Bag	0,48			0%	
Produtividade	259			0%	
Umidade	0,52			0%	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 37: Parâmetros globais de interesse para o estudo_Etanol (continua)

Parâmetros Globais					
Nome	Etanol				
Reduzido/curto	ETOH				
Parametro	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
AEAC_tcana	25,5				kg/tcana
AEHC_tcana	38,3				kg/tcana
agua_tcana	193				kg/tcana

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 38: Parâmetros globais de interesse para o estudo_Etanol (conclusão)

ciclohexano_tcana	0,0151				kg/tcana
CO2_vinhaça	0,00205				kg/kg vinhaça
eletricidade_tcana	3,65				kg/tcana
fator_AEAC	0,39972736	0	1		padrão=0,39972736
fator_AEHC	0,60027264	0	1		padrão=0,60027264
fator_etanol	1				

flegmaça_tcana	28,5				
mosto_tcana	296				kg/tcana
oleofusel_tcana	105				
vapor_tcana	97,7				
vinhaça_tcana	545				
vinho_final	551				kg/tcana

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 39: Parâmetros globais de interesse para o estudo Açúcar

Parâmetros Globais					
Nome	Açúcar				
Reduzido/curto	açúcar				
Parametro	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
águaENT_tcana	139			0 %	
águaSAI_tcana	332			0 %	
caldo_tcana	930			0 %	
crystal_tcana	102			0 %	
eletricidade_tcana	18,1			0 %	
fator_açúcar	1	0	2	0 %	padrão=1
fator_açúcarCristal	0	0	1	0 %	padrão=0,327869162
fator_açúcarOrgânico	1	0	1	0 %	padrão=0,327869162
fator_açúcarVHP	0	0	1	0 %	padrão=0,344261676
mel_tcana	49,2			0 %	
orgânico_tcana	88			0 %	
vapor_tcana	83,8			0 %	
VHP_tcana	108			0 %	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Na sequência deste Anexo 1 – Parte B, destaca-se o conjunto de planos associados ao conjunto principal de atividades da Usina de interesse, conforme é mostrado na Figura 41. Inicialmente discute-se o plano “JM_Reception_preparation and broth treatment”:

Plano: “**JM_Reception_preparation and broth treatment**”

Na Tabela 40 é mostrado o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos dos planos auxiliares deste plano:

Tabela 40: Mapeamento dos fluxos do plano JM_Reception_preparation and broth treatment

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment				
Fator de escala	573 (fixo)				
Entradas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Cana-colmo [Resources]	Mass	573000	kg	X	
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	733,4400000000001	MJ	X	
Steam (hp) [steam]	Mass	87783,6	kg	X	
Water (fresh water) [Water]	Mass	79074	kg	X	
Water (processed) [Operating materials]	Mass	531744	kg	X	
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	53289	kg	X	
Saídas					

Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Steam (lp) [steam]	Mass	87783,6	kg	X
Bagaço [Resources]	Mass	157575	kg	X
Caldo secundário peneirado [Resources]	Mass	203988	kg	X
Caldo primário peneirado [Resources]	Mass	383337	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Os seguintes planos auxiliares compõe a estrutura do plano “JM_Reception_preparation and broth treatment”:

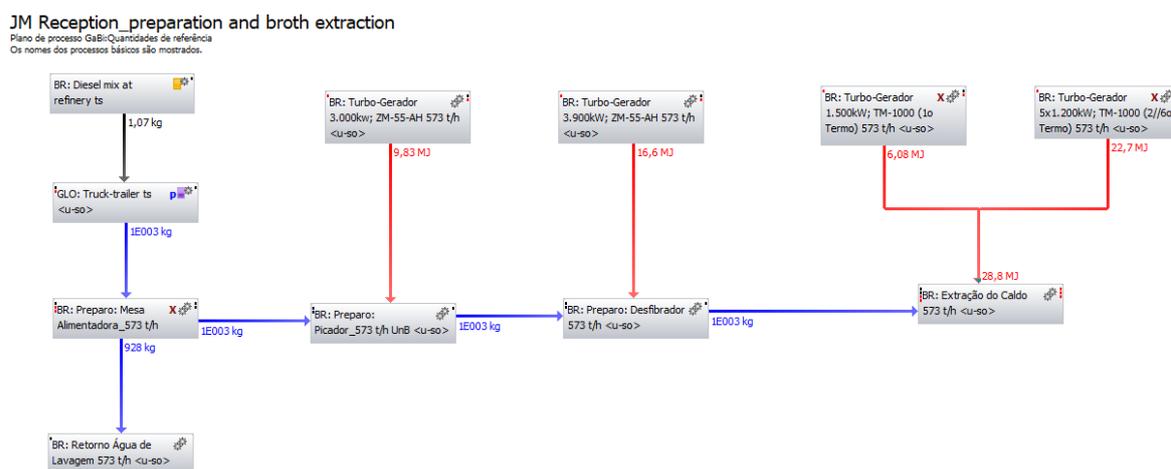


Figura 40: Planos internos componentes do plano JM_Reception_preparation and broth treatment

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 40, são destacados cada um dos processos componentes da Figura 40:

Tabela 41: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão fornecido por GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	1	kg	0 %	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 42: Mapeamento do processo GLO: Truck trailer ts <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment					
Plano auxiliar	GLO: Truck trailer ts <u-so>					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default

						= 100 km
payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07
spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,00208 810411 128719				[kgdiesel/kg] diesel consumption weighed
tonnage	utilisation*payload	14,705				[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %	[-] utilisation by mass, default = 0,85

Entradas

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00135	1	kg	X	0 %	Calculated

Saídas

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 43: Mapeamento do processo BR: Preparo: Mesa Alimentadora_573 t/h

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment							
Plano auxiliar	BR: Preparo: Mesa Alimentadora_573 t/h							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated	
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,26	MJ	X	0 %	Estimated	
	Water (processed) [Operating materials]	Mass	928	kg	X	0 %	Estimated	
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated	
	Water (processed) [Operating materials]	Mass	928	kg	X	0 %	Estimated	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 44: Mapeamento do processo BR: Retorno Água de Lavagem 573 t/h ,u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment							
Plano auxiliar	BR: Retorno Água de Lavagem 573 t/h ,u-so>							
Entradas								

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (processed) [Operating materials]	Mass	928	kg	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Fresh water [water] [Resources]	Mass	928	kg	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 45: Mapeamento do processo BR: Turbo-Gerador 3.000KW; ZM-55-AH 573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Turbo-Gerador 3.000KW; ZM-55-AH 573 t/h <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	24,8	kg	X	0 %	Calculated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	9,83	MJ	X	0 %	Estimated
	Steam (lp) [steam]	Mass	24,8	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 46: Mapeamento do processo BR: Preparo: Picador_573 t/h <u-so> (continua)

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Preparo: Picador_573 t/h <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	9,83	MJ	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 47: Mapeamento do processo BR: Preparo: Picador_573 t/h <u-so> (conclusão)

Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 48: Mapeamento do processo BR: Turbo-Gerador 3.900KW; ZM-55-AH 573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Turbo-Gerador 3.900KW; ZM-55-AH 573 t/h <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	41,9	kg	X	0 %	Calculated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	16,6	MJ	X	0 %	Calculated

		value)					
	Steam (lp) [steam]	Mass	41,9	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 49: Mapeamento do processo BR: Preparo: Desfibrador 573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Preparo: Desfibrador 573 t/h <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	16,6	MJ	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 50: Mapeamento do processo BR: Turbo-Gerador 1.500KW; TM-1000 (1o Termo) 573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Turbo-Gerador 1.500KW; TM-1000 (1o Termo) 573 t/h <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	18,3	kg	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	6,08	MJ	X	0 %	Estimated
	Steam (lp) [steam]	Mass	18,3	kg	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 51: Mapeamento processo BR: Turbo-Gerador 5x1.200KW; TM-1000 (2//6o Termo) 573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Turbo-Gerador 5x1.200KW; TM-1000 (2//6o Termo) 573 t/h <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	68,2	kg	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	22,7	MJ	X	0 %	Estimated
	Steam (lp) [steam]	Mass	68,2	kg	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 52: Mapeamento do processo BR: Extração do Caldo 573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Reception_preparation and broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Extração do Caldo 573 t/h <u-so>						
Entradas							

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cana-colmo [Resources]	Mass	1000	kg	X	0 %	Estimated
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	28,8	MJ	X	0 %	Estimated
	Water (fresh water) [Water]	Mass	138	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	93	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Bagaço [Resources]	Mass	275	kg	X	0 %	Measured
	Caldo primário peneirado [Resources]	Mass	669	kg	X	0 %	Measured
	Caldo secundário peneirado [Resources]	Mass	356	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “JM_Broth treatment”

Na Tabela 52, tem-se o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 53: Mapeamento do plano: JM_Broth treatment (continua)

Plano principal	JM_Broth treatment				
Fator de escala					
Entradas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Caldo primário peneirado [Resources]	Mass	383337	kg	X	
Caldo secundário peneirado [Resources]	Mass	203988	kg	X	
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	3686,109	MJ	X	
Steam (lp) [steam]	Mass	255558	kg	X	
Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	12892,5	kg	X	
Water (fresh water) [Water]	Mass	24650,46	kg	X	
Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	9397,2	kg	X	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 54: Mapeamento do plano: JM_Broth treatment (conclusão)

Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	35812,5	kg	X
Caldo primário peneirado [Resources]	Mass	383337	kg	X
Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Torta de filtro [Resources]	Mass	17190	kg	X
Vapor vegetal V5 [Resources]	Mass	19080,9	kg	X
Waste water (in) [Production residues in life cycle]	Mass	24352,5	kg	X
Caldo filtrado decantado [Resources]	Mass	110016	kg	X
Xarope flotado [Resources]	Mass	124914	kg	X
Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	210313,92	kg	X
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	415195,8	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Broth treatment é composto dos seguintes planos auxiliares:

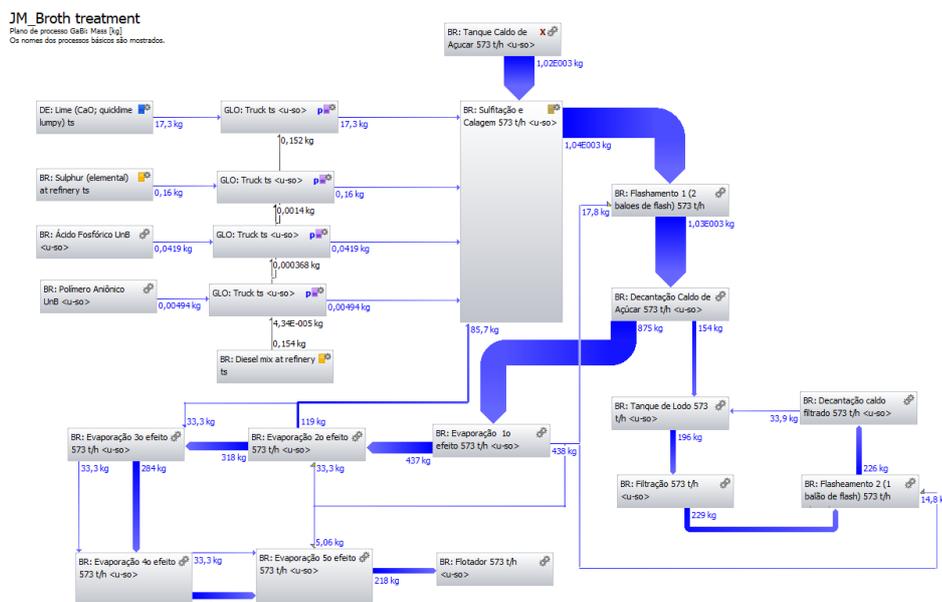


Figura 41 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Broth treatment

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.).

Para a obtenção dos valores da Tabela 54, são destacados cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 41:

Tabela 55: Mapeamento do processo BR: DE: Lime (CaO; quicklime lumpy) ts (continua)

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	DE: Lime (CaO; quicklime lumpy) ts						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 56: Mapeamento do processo BR: DE: Lime (CaO; quicklime lumpy) ts (conclusão)

Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Lime quicklime (lumpy) [Minerals]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 57: Mapeamento do processo BR: Sulphur (elemental) at refinery

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Sulphur (elemental) at refinery ts						

Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sulphur [Inorganic intermediate products]	Mass	1	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 58: Mapeamento do processo BR: Ácido Fosfórico UnB <u-so>

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Ácido Fosfórico UnB <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Phosphoric acid [Inorganic intermediate products]	Mass	0,047	kg		0 %	Calculated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Phosphoric acid [Inorganic intermediate products]	Mass	0,047	kg	X	0%	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 59: Mapeamento do processo BR: Polímero Aniônico UnB <u-so>

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Polímero Aniônico UnB <u-so>						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Polímero Aniônico [Resources]	Mass	0,00494	kg		0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Polímero Aniônico [Resources]	Mass	0,00494	kg	X	0%	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Obs.: O plano auxiliar GLO:Truck ts <u-so> é igual em todas as situações dentro do plano principal JM_Broth treatment.

Tabela 60: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so>

Plano principal	JM_Broth treatment					
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1

share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel		
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70		
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23		
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07		
spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,00208 810411 128719				[kgdiesel/kg] diesel consumption weighed		
tonnage	utilisation*payload	14,705				[t]		
utilisation		0,85	0	1	0 %	[-] utilisation by mass, default = 0,85		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00168	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 61: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_Broth treatment							
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
Utilizado processo padrão do GaBi Education								
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 62: Mapeamento do processo BR: Tanque Caldo de Açúcar 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment							
Plano auxiliar	BR: Tanque Caldo de Açúcar 573 t/h							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Caldo primário peneirado [Resources]	Mass	669	kg	X	0 %	Calculated	
	Caldo secundário peneirado [Resources]	Mass	356	kg	X	0 %	Calculated	
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0	MJ	X	0 %	Estimated	
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Caldo de cana misto [Resources]	Mass	1020	kg	X	0 %	Calculated	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 63: Mapeamento do processo BR: Sulfitação e Calagem 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Sulfitação e Calagem 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo de cana_misto [Resources]	Mass	1020	kg	X	0 %	Measured
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	3,2	MJ	X	0 %	Measured
	Lime quicklime (lumpy) [Minerals]	Mass	17,3	kg	X	0 %	Measured
	Phosphoric acid [Inorganic intermediate products]	Mass	0,0419	kg	X	0 %	Measured
	Polimero anionico [Non renewable resources]	Mass	0,00494	kg	X	0 %	Measured
	Sulphur [Inorganic intermediate products]	Mass	0,16	kg	X	0 %	Measured
	Vapor vegetal V2 [Resources]	Mass	85,7	kg	X	0 %	Measured
	Water (fresh water) [Water]	Mass	0,52	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	16,4	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo Caleado [Resources]	Mass	1040	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	85,7	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 64: Mapeamento do processo BR: Flashamento 1 (2 baloes de flash) 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Flashamento 1 (2 baloes de flash) 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo Caleado [Resources]	Mass	1040	kg	X	0 %	Measured
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	17,8	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo flasheado [Resources]	Mass	1030	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	17,8	kg	X	0 %	Measured
	Flash [Resources]	Mass	13,4	kg		0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 65: Mapeamento do processo BR: Decantação Caldo de Açúcar 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
-----------------	--------------------	--	--	--	--	--	--

Plano auxiliar	BR: Decantação Caldo de Açúcar 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo flasheado [Resources]	Mass	1030	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo decantado açúcar [Resources]	Mass	875	kg	X	0 %	Measured
	Lodo açúcar [Resources]	Mass	154	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 66: Mapeamento do processo BR: Evaporação 1o efeito 573 t/h (continua)

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Evaporação 1o efeito 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo decantado açúcar [Resources]	Mass	875	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,329	MJ	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Steam (lp) [steam]	Mass	446	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	22,5	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water (fresh water) [Water]	Mass	17,5	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo pré-evaporado [Resources]	Mass	437	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 67: Mapeamento do processo BR: Evaporação 1o efeito 573 t/h (conclusão)

	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	438	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Waste water (in) [Production residues in life cycle]	Mass	17,5	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	468	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 68: Mapeamento do processo BR: Evaporação 2o efeito 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Evaporação 2o efeito 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo pré-evaporado [Resources]	Mass	437	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Electricity from solid biomass [System-	Energy (net calorific	0,329	MJ	X	0 %	(Nenhum enunciado)

	dependent]	value)					
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor vegetal V2 [Resources]	Mass	119	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Xarope [Resources]	Mass	318	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 69: Mapeamento do processo BR: Evaporação 3o efeito 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Evaporação 3o efeito 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,329	MJ	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Vapor vegetal V2 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	Measured
	Xarope [Resources]	Mass	318	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor vegetal V3 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Xarope [Resources]	Mass	284	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 70: Mapeamento do processo BR: Evaporação 4o efeito 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Evaporação 4o efeito 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,329	MJ	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Vapor vegetal V3 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Xarope [Resources]	Mass	284	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor vegetal V4 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

	Xarope [Resources]	Mass	251	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
--	--------------------	------	-----	----	---	-----	--------------------

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 71: Mapeamento do processo BR: Evaporação 5o efeito 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Evaporação 5o efeito 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,329	MJ	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	5,06	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Vapor vegetal V4 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Xarope [Resources]	Mass	251	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor vegetal V5 [Resources]	Mass	33,3	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	38,4	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Xarope bruto [Resources]	Mass	218	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 72: Mapeamento do processo BR: Flotador 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Flotador 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Xarope bruto [Resources]	Mass	218	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Xarope flotado [Resources]	Mass	218	218	kg	X	0 %

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 73: Mapeamento do processo BR: Tanque de Lodo 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Tanque de Lodo 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Lodo açúcar [Resources]	Mass	154	kg	X	0 %	Measured
	Lodo filtrado [Resources]	Mass	33,9	kg	X	0 %	Calculated
	Bagacilho esteira [Resources]	Mass	8,03	kg		0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Lodo final [Resources]	Mass	196	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 74: Mapeamento do processo BR: Filtração 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Filtração 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,288	MJ	X	0 %	Measured
	Lodo final [Resources]	Mass	196	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	62,5	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo de cana filtrado [Resources]	Mass	229	kg	X	0 %	Measured
	Torta de filtro [Resources]	Mass	30	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 75: Mapeamento do processo BR: Flasheamento 2 (1 balão de flash) 573 t/h

Plano principal	JM_Broth treatment						
Plano auxiliar	BR: Flasheamento 2 (1 balão de flash) 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo de cana filtrado [Resources]	Mass	229	kg	X	0 %	Measured
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	14,8	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo filtrado flasheado [Resources]	Mass	226	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	14,8	kg	X	0 %	Measured
	Flash [Resources]	Mass	2,97	kg		0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “**JM_Fermentation**”

Mostra-se na Tabela 76 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 76: Mapeamento do plano principal: JM_Fermentation

Plano principal	JM_Fermentation				
Fator de escala					
Entradas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Caldo filtrado decantado [Resources]	Mass	110016	kg	X	
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	703,01996832	MJ	X	
Mel final [Resources]	Mass	37416,9	kg	X	
Pé de Cuba [Non renewable resources]	Mass	96096,41	kg	X	

Steam (mp) [steam]	Mass	10199,4	kg	X
Water (fresh water) [Water]	Mass	531744,152920634	kg	X
Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	140601,143887507	kg	X
Caldo filtrado decantado [Resources]	Mass	110016	kg	X
Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Levedura seca [Resources]	Mass	475,59	kg	X
Water (waste water, untreated) [Production residues in life cycle]	Mass	6990,6	kg	X
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	10199,4	kg	X
Waste water (in) [Production residues in life cycle]	Mass	13007,1	kg	X
Fermento diluído [Non renewable resources]	Mass	96151,8900478286	kg	X
Vinho centrifugado [Resources]	Mass	251547	kg	X
Water (processed) [Operating materials]	Mass	531744	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Fermentation é composto pelos seguintes planos auxiliares:

JM Fermentation 573 t/h
Plano de processo GaBi: Mass [kg]
Os nomes dos processos básicos são mostrados.

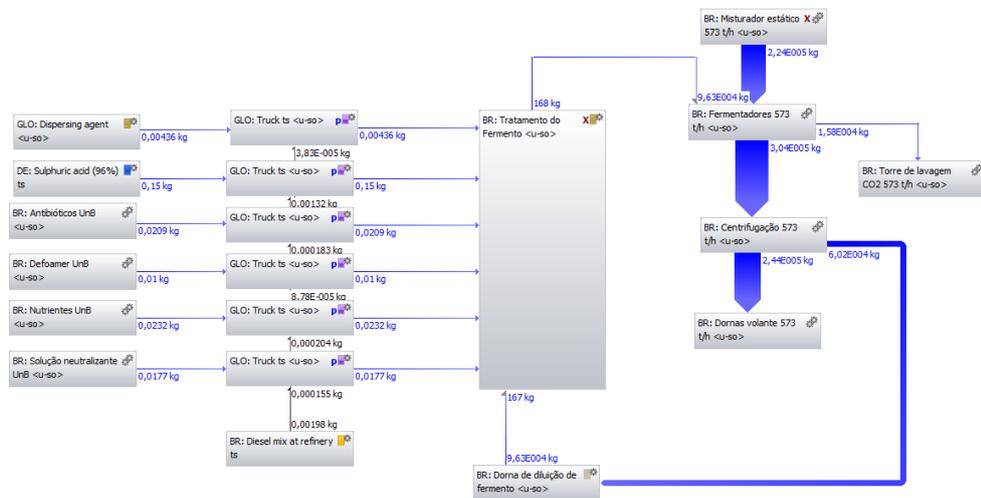


Figura 42 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Fermentation

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 768, são destacados cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 42:

Tabela 77: Mapeamento do processo GLO: Dispersing agent

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	GLO: Dispersing agent						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Dispersing agent [Operating materials]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 78: Mapeamento do processo DE: Sulphuric acid (96%)

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	DE: Sulphuric acid (96%)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sulphuric acid aq. (96%) [Inorganic intermediate products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 79: Mapeamento do processo BR: Antibióticos UnB

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Antibióticos UnB						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Antibióticos [Usina Total 2011] [Resources]	Mass	9,56	kg		0 %	Calculated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Antibióticos [Usina Total 2011] [Resources]	Mass	9,56	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 80: Mapeamento do processo BR: Defoamer UnB

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Defoamer UnB						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Defoamer [Operating materials]	Mass	80,9	kg		0 %	Calculated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Defoamer [Operating materials]	Mass	80,9	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 81: Mapeamento do processo BR: Nutrientes UnB

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Nutrientes UnB						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Nutrients [Resources]	Mass	0	kg		0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Nutrients [Resources]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 82: Mapeamento do processo BR: Solução neutralizante UnB

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Solução neutralizante UnB						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Solução neutralizante [Resources]	Mass	0	kg		0 %	Calculated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Solução neutralizante [Resources]	Mass	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Obs.: O plano auxiliar GLO:Truck ts <u-so> é igual em todas as situações dentro do plano principal JM_Fermentation.

Tabela 83: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (continua)

Plano principal	JM_Fermentation					
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 84: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (conclusão)

spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,00208 810411 128719				[kgdiesel/kg] diesel consumption weighed
tonnage	utilisation*payload	14,705				[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %	[-] utilisation by mass, default =

								0,85
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00168	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 85: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_Fermentation							
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
Utilizado processo padrão do GaBi Education								
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 86: Mapeamento do processo BR: Tratamento do Fermento (continua)

Plano principal	JM_Fermentation							
Plano auxiliar	BR: Tratamento do Fermento							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Antibiotico [Non renewable elements]	Mass	0,0209	kg	X	0 %	Measured	
	Anti-espumante [Non renewable resources]	Mass	0,01	kg	X	0 %	Measured	
	Dispersing agent [Operating materials]	Mass	0,00436	kg	X	0 %	Measured	
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	3,95996832	MJ	X	0 %	Estimated	
	Fermento diluído [Non renewable resources]	Mass	167,36	kg	X	0 %	Measured	
	Nutrients [Intermediate products] [Non renewable resources]	Mass	0,0232	kg	X	0 %	Measured	
	Solução neutralizante [Non renewable resources]	Mass	0,0177	kg	X	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 87: Mapeamento do processo BR: Tratamento do Fermento (conclusão)

	Sulphuric acid aq. (96%) [Inorganic intermediate products]	Mass	0,15	kg	X	0 %	Measured	
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	

	Pé de Cuba [Non renewable resources]	Mass	167,59	kg	X	0 %	Measured
--	--------------------------------------	------	--------	----	---	-----	----------

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 88: Mapeamento do processo BR: Misturador estático 573 t/h >

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Misturador estático 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Caldo filtrado decantado [Resources]	Mass	192	kg	X	0 %	Measured
	Mel final [Resources]	Mass	65,3	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	134	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Mosto fermentação [Resources]	Mass	391	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 89: Mapeamento do processo BR: Fermentadores 573 t/h

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Fermentadores 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Mosto fermentação [Resources]	Mass	391	kg	X	0 %	Measured
	Pé de cuba [Resources]	Mass	168	kg	X	0 %	Measured
	Water (fresh water) [Water]	Mass	928	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Carbon dioxide [Inorganic intermediate products]	Mass	27,6	kg	X	0 %	Measured
	Vinho inteiro [Resources]	Mass	531	kg	X	0 %	Measured
	Water (processed) [Operating materials]	Mass	928	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 90: Mapeamento do processo BR: Centrifugação 573 t/h (continua)

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Centrifugação 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,22	MJ	X	0 %	Estimated
	Steam (mp) [steam]	Mass	17,8	kg	X	0 %	Measured
	Vinho inteiro [Resources]	Mass	531	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 91: Mapeamento do processo BR: Centrifugação 573 t/h (conclusão)

	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	23,2	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Leite de leveduras [Resources]	Mass	105	kg	X	0 %	Measured
	Levedura seca [Resources]	Mass	0,83	kg	X	0 %	Measured
	Vinho centrifugado [Resources]	Mass	426	kg	X	0 %	Measured
	Waste water (in) [Production residues in life cycle]	Mass	22,7	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	17,8	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 92: Mapeamento do processo BR: Dornas volante 573 t/h

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Dornas volante 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vinho centrifugado [Resources]	Mass	426	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	12,2	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vinho centrifugado [Resources]	Mass	439	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 93: Mapeamento do processo BR: Torre de lavagem CO2 573 t/h

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Torre de lavagem CO2 573 t/h						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Carbon dioxide [Inorganic intermediate products]	Mass	27,6	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	12,7	kg	*	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (waste water, untreated) [Production residues in life cycle]	Mass	12,2	kg	X	0 %	Measured
	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	27,6	kg	*	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 94: Mapeamento do processo BR: Dorna de diluição de fermento

Plano principal	JM_Fermentation						
Plano auxiliar	BR: Dorna de diluição de fermento						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Leite de Leveduras [Non renewable resources]	Mass	104,54	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	63	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Fermento diluído [Non renewable resources]	Mass	167,36	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “**JM_Ethanol getting**”

É evidenciado na Tabela 95 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 95: Mapeamento do plano principal: JM_Ethanol getting

Plano principal	JM_Ethanol getting				
Fator de escala					
Entradas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1630,56467338892	MJ	X	
Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	78547,5201713999	kg	X	
Vinho centrifugado [Resources]	Mass	251547	kg	X	
Saídas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Etanol_Anidro [Resources]	Mass	6805,54061631034	kg	X	
Etanol_Hidratado [Resources]	Mass	10406,1130738023	kg	X	
Flegmaca [Resources]	Mass	25914,948260929	kg	X	
Vinhaça [Resources]	Mass	265559,418926927	kg	X	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Ethanol getting é composto pelos seguintes planos auxiliares:

JM Ethanol getting
 Plano de processo Gabi: Mass [kg]
 Os nomes dos processos básicos são mostrados.

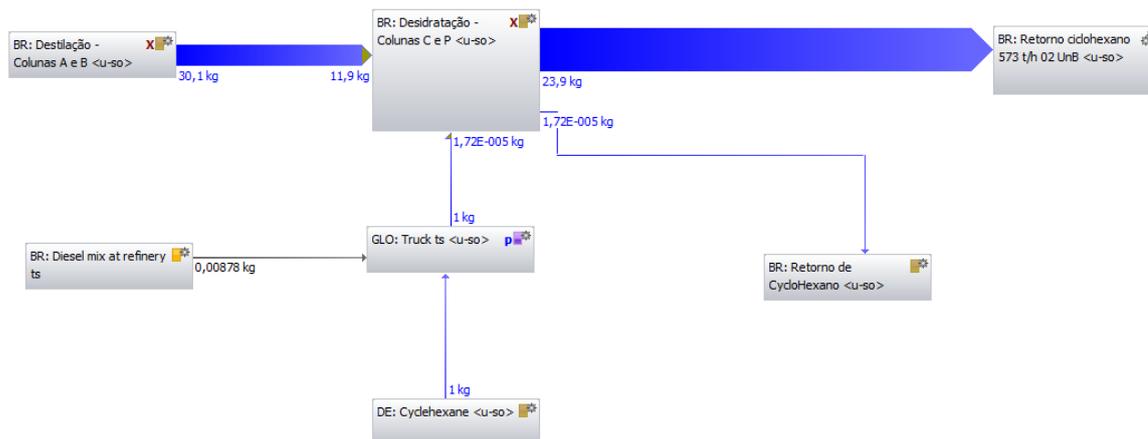


Figura 43 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Ethanol getting

Para a obtenção dos valores da Tabela 95, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 43:

Tabela 96: Mapeamento do processo BR: Destilação - Colunas A e B

Plano principal	JM_Ethanol getting						
Plano auxiliar	BR: Destilação - Colunas A e B						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	2,735978112	MJ	X	0 %	Estimated
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	113,09	kg	X	0 %	Measured
	Vinho_Centrifugado [Resources]	Mass	438,74	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Etanol_Hidratado [Resources]	Mass	30,06	kg	X	0 %	Measured
	Flegmaca [Resources]	Mass	45,2	kg	X	0 %	Measured
	Vinhaça [Resources]	Mass	463,18	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de Gabi Education – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 97: Mapeamento do processo BR: Desidratação - Colunas C e P

Plano principal	JM_Ethanol getting						
Plano auxiliar	BR: Desidratação - Colunas C e P						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cyclohexane (hexahydro benzene) [Organic intermediate products]	Mass	1,72E-5	kg	X	0 %	Measured

	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,107999136	kg	X	0 %	Measured
	Etanol_Hidratado [Resources]	Mass	11,91	kg	X	0 %	Measured
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	23,91	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cyclohexane (hexahydro benzene) [Organic intermediate products]	Mass	1,72E-5	kg	X	0 %	Measured
	Etanol_Anidro [Resources]	Mass	11,87	kg	X	0 %	Measured
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	23,91	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 98: Mapeamento do processo BR: Retorno ciclohexano 573 t/h 02 UnB

Plano principal	JM_Ethanol getting						
Plano auxiliar	BR: Retorno ciclohexano 573 t/h 02 UnB						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	23,91	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	23,91	kg	*	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 99: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (continua)

Plano principal	JM_Ethanol getting					
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 100: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (conclusão)

share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default =

						0,23		
share_ur		0,07	0	1	0 %			[-] driving share urban , default = 0,07
tonnage	utilisation*payload	14,705						[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %			[-] utilisation by mass, default = 0,85
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00168	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 101: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_Ethanol getting							
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
Utilizado processo padrão do GaBi Education								
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 102: Mapeamento do processo BR: Retorno de CycloHexano

Plano principal	JM_Ethanol getting							
Plano auxiliar	BR: Retorno de CycloHexano							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Cyclohexane (hexahydro benzene) [Organic intermediate products]	Mass	1,72E-5	kg	X	0 %	Measured	
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Cyclohexane (hexahydro benzene) [Organic intermediate products]	Mass	1,72E-5	kg	*	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 103: Mapeamento do processo BR: Cyclehexane

Plano principal	JM_Ethanol getting							
Plano auxiliar	BR: Cyclehexane							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
Saídas								

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cyclohexane (hexahydro benzene) [Organic intermediate products]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “JM_Electricity and steam generation”

Mostra-se na Tabela 104 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 104: Mapeamento do plano principal JM_ Electricity and steam generation

Plano principal	JM_ Electricity and steam generation			
Fator de escala				
Entradas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Bagaço [Resources]	Mass	148601,065803949	kg	X
Steam (lp) [steam]	Mass	86960,8658375379	kg	X
Water (desalinated; deionised) [Operating materials]	Mass	42997,7017734569	kg	X
Water (fresh water) [Water]	Mass	42007,8351323346	kg	X
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	254599,797827826	kg	X
Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	3598,42173690441	kg	X
Steam (mp) [steam]	Mass	10199,348235175	kg	X
Steam (hp) [steam]	Mass	87140,907139173	kg	X
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	97975,7777716492	MJ	X
Steam (lp) [steam]	Mass	261616,6	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Electricity and steam generation é composto pelos seguintes planos auxiliares:

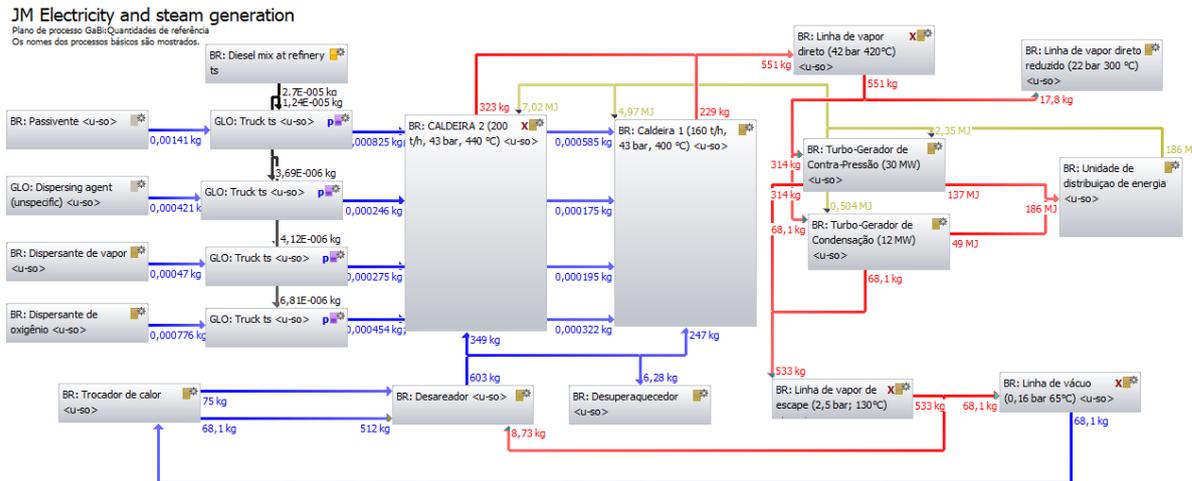


Figura 44 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Electricity and steam generation
 (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 104, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 44:

Tabela 105: Mapeamento do processo BR: Passivante

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Passivante						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Passivante [Non renewable resources]	Mass	1	kg		0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Passivante [Non renewable resources]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 106: Mapeamento do processo GLO: Dispersing agent (unspecific)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	GLO: Dispersing agent (unspecific)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Dispersing agent [Operating materials]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 107: Mapeamento do processo BR: Dispersante de vapor

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Dispersante de vapor						
Entradas							

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Neutralizante vapor [Non renewable resources]	Mass	1	kg		0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Neutralizante vapor [Non renewable resources]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 108: Mapeamento do processo BR: Dispersante de oxigênio

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Dispersante de oxigênio						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sequestrante de oxigênio [Non renewable resources]	Mass	1	kg		0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sequestrante de oxigênio [Non renewable resources]	Mass	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 109: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Obs.: O plano auxiliar GLO:Truck ts <u-so> é igual em todas as situações dentro do plano principal JM_Electricity and steam generation.

Tabela 110: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (continua)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation					
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 111: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (conclusão)

payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t		
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm		
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1		
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel		
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70		
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23		
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07		
spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,00208 810411 128719				[kgdiesel/kg] diesel consumption weighed		
tonnage	utilisation*payload	14,705				[t]		
utilisation		0,85	0	1	0 %	[-] utilisation by mass, default = 0,85		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00168	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 112: Mapeamento do processo BR: CALDEIRA 2 (200 t/h, 43 bar, 440 °C) (continua)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: CALDEIRA 2 (200 t/h, 43 bar, 440 °C)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Bagaço [Resources]	Mass	152,88	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Dispersante de incrustação [Non renewable resources]	Mass	0,000246	kg	X	0 %	Measured
	Electricity from solid	Energy	7,01994384	MJ	X	0 %	Estimated

	biomass [System-dependent]	(net calorific value)					
	Fresh water [Water] [Non renewable resources]	Mass	42,91	kg	X	0 %	Measured
	Neutralizante vapor [Non renewable resources]	Mass	0,000275	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

**Tabela 113: Mapeamento do processo BR: CALDEIRA 2 (200 t/h, 43 bar, 440 °C)
(conclusão)**

	Passivante [Non renewable resources]	Mass	0,000825	kg	X	0 %	Measured
	Sequestrante de oxigênio [Non renewable resources]	Mass	0,000454	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	349,43	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Ash [Waste for recovery]	Mass	2,9	kg	*	0 %	Measured
	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	129,15	kg	*	0 %	Measured
	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	5,12	kg	*	0 %	Measured
	Dust (unspecified) [Particles to air]	Mass	0,22	kg	*	0 %	Measured
	Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,31	kg	*	0 %	Measured
	Steam (hp) [steam]	Mass	322,86	kg	*	0 %	Measured
	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,1	kg	*	0 %	Measured
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	17,37	kg	*	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 114: Mapeamento do processo BR: Caldeira 1 (160 t/h, 43 bar, 400 °C)
(continua)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Caldeira 1 (160 t/h, 43 bar, 400 °C)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Bagaço [Resources]	Mass	106,46	kg	X	0 %	Measured
	Dispersante de incrustação [Non renewable resources]	Mass	0,000175	kg	X	0 %	Measured
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	4,967960256	MJ	X	0 %	Estimated
	Fresh water [Water] [Non renewable resources]	Mass	30,39	kg	X	0 %	Measured
	Neutralizante vapor [Non renewable resources]	Mass	0,000195	kg	X	0 %	Measured
	Passivante [Non renewable resources]	Mass	0,000585	kg	X	0 %	Measured
	Sequestrante de oxigênio [Non renewable resources]	Mass	0,000322	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 115: Mapeamento do processo BR: Caldeira 1 (160 t/h, 43 bar, 400 °C)
(conclusão)

	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	247,43	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Ash [Waste for recovery]	Mass	2,02	kg	*	0 %	Measured
	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	89,94	kg	*	0 %	Measured
	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	2,38	kg	*	0 %	Measured
	Dust (unspecified) [Particles to air]	Mass	0,1	kg	*	0 %	Measured
	Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,22	kg	*	0 %	Measured
	Steam (hp) [steam]	Mass	228,62	kg	*	0 %	Measured
	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,05	kg	*	0 %	Measured
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	12,3	kg	*	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 116: Mapeamento do processo BR: Linha de vapor direto (42 bar 420°C)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Linha de vapor direto (42 bar 420°C)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	551,48	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	551,48	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 117: Mapeamento do processo BRTurbo-Gerador de Contra-Pressão (30 MW)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BRTurbo-Gerador de Contra-Pressão (30 MW)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	2,34	MJ	X	0 %	Estimated
	Steam (hp) [steam]	Mass	312,39	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	136,33	MJ	X	0 %	Measured
	Steam (lp) [steam]	Mass	312,39	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 118: Mapeamento do processo BR: Turbo-Gerador de Condensação (12 MW)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Turbo-Gerador de Condensação (12 MW)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,504	MJ	X	0 %	Estimated
	Steam (hp) [steam]	Mass	68,06	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	48,99	MJ	X	0 %	Measured
	Steam (lp) [steam]	Mass	68,06	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 119: Mapeamento do processo BR: Linha de vapor de escape (2,5 bar; 130°C)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Linha de vapor de escape (2,5 bar; 130°C)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

	Steam (lp) [steam]	Mass	533,36	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (lp) [steam]	Mass	533,36	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 120: Mapeamento do processo BR: Linha de vapor direto reduzido (22 bar 300 °C)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Linha de vapor direto reduzido (22 bar 300 °C)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (hp) [steam]	Mass	17,8	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (mp) [steam]	Mass	17,8	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 121: Mapeamento do processo BR: Unidade de distribuição de energia

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Unidade de distribuição de energia						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	1	MJ	X	5 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	1	MJ	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 122: Mapeamento do processo BR: Trocador de calor

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Trocador de calor						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (desalinated; deionised) [Operating materials]	Mass	75,04	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	68,06	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (desalinated; deionised) [Operating materials]	Mass	75,04	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	68,06	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 123: Mapeamento do processo BR: Desareador

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Desareador						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (lp) [steam]	Mass	8,73	kg	X	0 %	Measured
	Water (desalinated; deionised) [Operating materials]	Mass	75,04	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	512,39	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	603,14	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 124: Mapeamento do processo BR: Desuperaquecedor

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Desuperaquecedor						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	6,28	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	6,28	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 125: Mapeamento do processo BR: Linha de vácuo (0,16 bar 65°C)

Plano principal	JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar	BR: Linha de vácuo (0,16 bar 65°C)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (lp) [steam]	Mass	68,06	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	68,06	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “**JM_Sugar factory**”

É destacado na Tabela 117 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 126: Mapeamento do plano principal “JM_Sugar factory”

Plano principal	JM_Sugar factory				
Fator de escala					
Entradas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	8188,59849160287	MJ	X	
Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	69696,5161853719	kg	X	
Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	15401,5320212331	kg	X	
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	26700,5726260961	kg	X	
Xarope flotado [Resources]	Mass	124696,257953161	kg	X	
Saídas					
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	
Mel final [Resources]	Mass	37397,9908863797	kg	X	
Açúcar_Cristal [Non renewable resources]	Mass	58701,1516211061	kg	X	
Steam (lp) [steam]	Mass	69696,5161853719	kg	X	
Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	73397,9260386891	kg	X	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Sugar factory é composto pelos seguintes planos auxiliares:

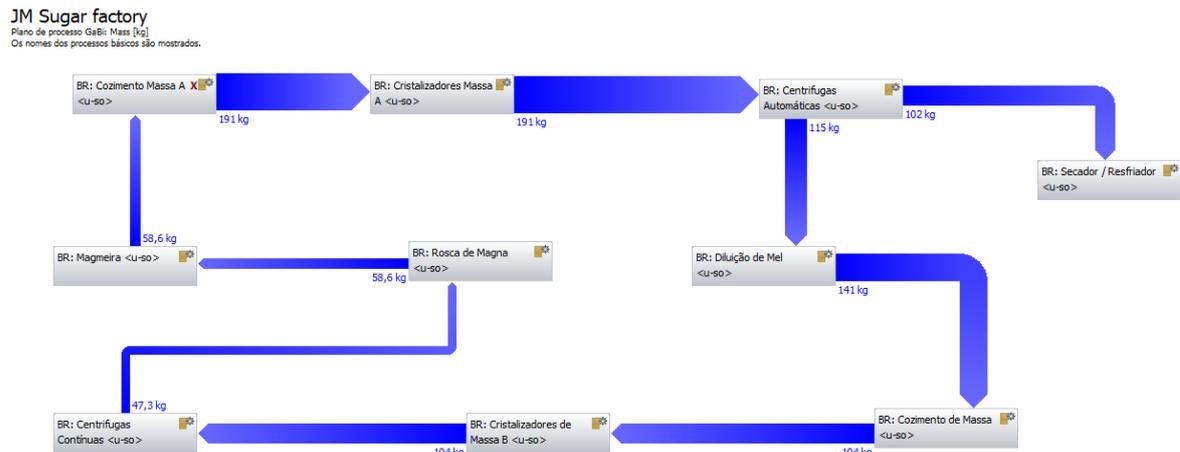


Figura 45 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Sugar factory

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 126, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 45:

Tabela 127: Mapeamento do processo BR: Cozimento Massa A

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Cozimento Massa A						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from	Energy	1,08	MJ	X	0 %	Estimated

	solid biomass [System-dependent]	(net calorific value)					
	Magma [Non renewable resources]	Mass	58,64	kg	X	0 %	Measured
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	84,99	kg	X	0 %	Measured
	Xarope flotado [Renewable resources]	Mass	217,63	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa A [Renewable resources]	Mass	191,45	kg	X	0 %	Measured
	Steam (lp) [steam]	Mass	84,99	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	84,99	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 128: Mapeamento do processo BR: Cristalizadores Massa A

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Cristalizadores Massa A						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa A [Renewable resources]	Mass	191,45	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa A [Renewable resources]	Mass	191,45	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 129: Mapeamento do processo BR: Centrifugas Automáticas

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Centrifugas Automáticas						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	3,56	MJ	X	0 %	Estimated
	Massa A [Renewable resources]	Mass	191,45	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	7,85	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	11,87	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

	Açúcar_Cristal [Non renewable resources]	Mass	102,45	kg	X	0 %	Measured
	Mel A inteiro [Non renewable resources]	Mass	115,36	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 130: Mapeamento do processo BR: Secador / Resfriador (continua)

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Secador / Resfriador						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Açúcar_Cristal [Non renewable resources]	Mass	102,45	kg	X	0 %	Measured
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,69	MJ	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Açúcar_Cristal [Non renewable resources]	Mass	102,45	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 131: Mapeamento do processo BR: Secador / Resfriador (conclusão)

	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	6,46	kg	X	0 %	Measured
--	---	------	------	----	---	-----	----------

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 132: Mapeamento do processo BR: Diluição de Mel

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Diluição de Mel						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	3,31	MJ	X	0 %	Estimated
	Mel A inteiro [Non renewable resources]	Mass	115,36	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	25,48	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Mel A diluido [Non renewable resources]	Mass	140,84	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 133: Mapeamento do processo BR: Cozimento de Massa

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Cozimento de Massa						
Entradas							

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,08	MJ	X	0 %	Measured
	Mel A diluído [Non renewable resources]	Mass	140,84	kg	X	0 %	Measured
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	36,65	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa B [Non renewable resources]	Mass	104,01	kg	X	0 %	Measured
	Steam (lp) [steam]	Mass	36,65	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	36,65	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 134: Mapeamento do processo BR: Cristalizadores de Massa B

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Cristalizadores de Massa B						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa B [Non renewable resources]	Mass	104,01	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa B [Non renewable resources]	Mass	104,01	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 135: Mapeamento do processo BR: Centrifugas Contínuas

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Centrifugas Contínuas						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	3,56	MJ	X	0 %	Estimated
	Massa B [Non renewable resources]	Mass	104,01	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	8,38	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	9,25	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa B [Non renewable resources]	Mass	47,29	kg	X	0 %	Measured
	Mel final [Resources]	Mass	65,27	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 136: Mapeamento do processo BR: Rosca de Magna

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Rosca de Magna						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Massa B [Non renewable resources]	Mass	47,29	kg	X	0 %	Measured
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	10,65	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Magma [Non renewable resources]	Mass	58,64	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 137: Mapeamento do processo BR: Magma

Plano principal	JM_Sugar factory						
Plano auxiliar	BR: Magma						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Magma [Non renewable resources]	Mass	58,64	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Magma [Non renewable resources]	Mass	58,64	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Atividades associada ao Plano Plano Principal: “**JM_Storage_use_vinasse**”

Para apresentar o detalhamento deste Plano, é recuperado do modelo tecnológico segmento de interesse, mostrado na Figura 49, construído para avaliar os impactos ambientais do reservatório em situação de operação em regime permanente e na ocorrência de eventos transientes.

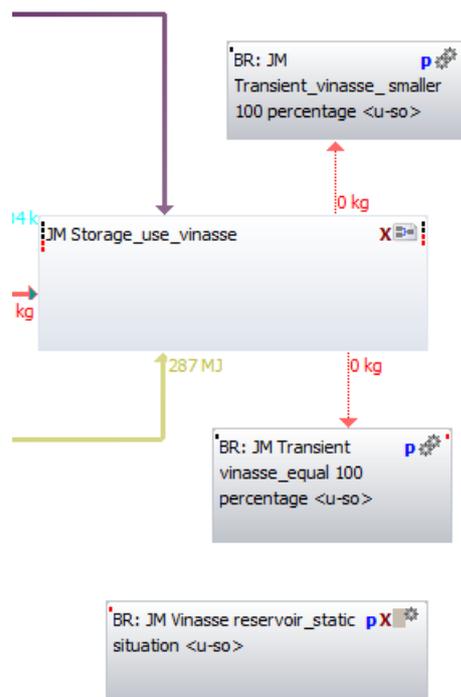


Figura 46 - Planos de interesse para avaliação de impactos ambientais do reservatório de vinhaça em diferentes situações

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “**JM_Storage_use_vinasse**”

Evidenciamos na Tabela 138 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 138: Mapeamento do plano principal “JM_Storage_use_vinasse”

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse			
Fator de escala	573			
Entradas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Diesel [Refinery products]	Mass	9546,18	kg	X
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	286,566209499352	MJ	X
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	321,2336556	MJ	X
Vinhaça [Resources]	Mass	265402,14	kg	X
Waste water (in) [Production residues in life cycle]	Mass	211437	kg	X
Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Flegmaca [Resources]	Mass	0	kg	X
BR: vinasse, from sugarcane, wasted complete [Resources]	Mass	0	kg	X
BR: vinasse, from sugarcane, wasted [Resources]	Mass	0	kg	X

Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	503730,63165	kg	X
-------------------------------	------	--------------	----	---

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Storage_use_vinasse é composto seguintes planos auxiliares:

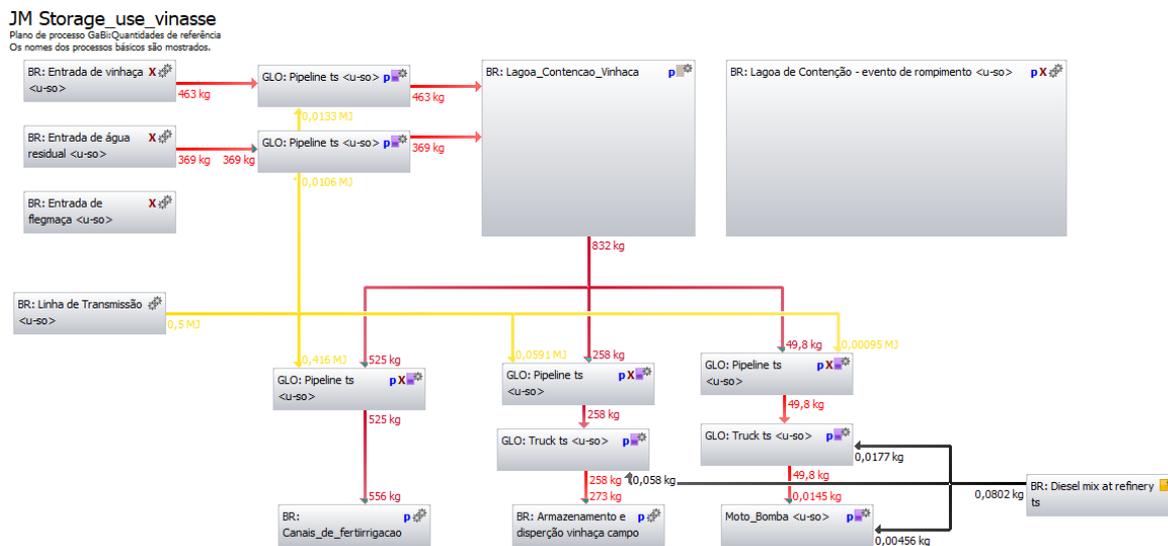


Figura 47 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Storage_use_vinasse

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 138, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 47:

Tabela 139: Mapeamento do processo BR: Entrada de vinhaça

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse						
Plano auxiliar	BR: Entrada de vinhaça						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vinhaça [Resources]	Mass	463,18	463,18	kg	X	0 %
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vinhaça [Resources]	Mass	463,18	463,18	kg	X	0 %

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 140: Mapeamento do processo BR: Entrada de água residual

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse						
Plano auxiliar	BR: Entrada de água residual						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	369	369	kg	X	0 %
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	369	369	kg	X	0 %
--	--	------	-----	-----	----	---	-----

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 141: Mapeamento do processo BR: Entrada de flegmaça

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse						
Plano auxiliar	BR: Entrada de flegmaça						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Flegmaça [Resources]	Mass	45,2267858	45,2267858	kg		0 %
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Flegmaça [Resources]	Mass	45,2267858	45,2267858	kg	X	0 %

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 142: Mapeamento do processo GLO: Pipeline (continua)

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse					
Plano auxiliar	GLO: Pipeline					
Entrada de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
Auslast		0,28			0 %	[-] average utilisation ratio (28%)
Distanz		100			0 %	[km] distance start - destination
Verbrauch	$3,6*(73,095*Auslast^2+6,3703*Auslast+14,926)/1000*Distanz$	8,07851952				[MJ] Power per ton cargo

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 143: Mapeamento do processo GLO: Pipeline (conclusão)

Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature
Verbrauch	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	0,00808	0,001	MJ	X	0 %	Literature
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	Kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 144: Mapeamento do processo GLO: Pipeline

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse					
Plano auxiliar	GLO: Pipeline					
Entrada de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
Auslast		0,28			0 %	[-] average utilisation ratio (28%)

Distanz		100				0 %	[km] distance start - destination	
Verbrauch	3,6*(73,095*Auslast^2+6,3703*Auslast+14,926)/1000*Distanz	8,07851952					[MJ] Power per ton cargo	
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature
Verbrauch	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	0,00808	0,001	MJ	X	0 %	Literature
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	Kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 145: Mapeamento do processo BR: Lagoa_Contencao_Vinhaca (continua)

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse					
Plano auxiliar	BR: Lagoa_Contencao_Vinhaca					
Entrada de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
outp_ch4	1-(vazamento)	1				[%] Saída de CH ₄ em processo normal, segundo evento de vazamento
outp_CO2	1-(vazamento)	1				[%] Saída de CO ₂ em processo normal, segundo evento de vazamento
outp_n2o	1-(vazamento)	1				[%] Saída de N ₂ O em processo normal, segundo evento de vazamento
outp_vinhaca	1-(vazamento)	1				[%] Saída de vinhaça em processo normal, segundo evento de vazamento

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 146: Mapeamento do processo BR: Lagoa_Contencao_Vinhaca (conclusão)

vazamento	if(trnt_vin.trnt_vin10=0;trnt_vin.trnt_vin;trnt_vin.trnt_vin100)	0					[%] Percentual de vinhaça que vazou da lagoa de contenção, com verificação de evento	
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vinhaça [Resources]	Mass	463,18	463,18	kg	X	0 %	Calculated
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	369	369	kg	X	0 %	Calculated
	Flegmaca [Resources]	Mass	45,2	45,2	kg		0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
outp_vinhaca	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	832,18	832,18	kg	X	0 %	Calculated
outp_CO2	Carbon	Mass	0,035187	0,035	kg	*	0 %	Literature

	dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]		39	18739				
outp_ch4	Methane, non-fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,00771653	0,00771653	kg	*	0 %	Literature
outp_n2o	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	3,086611E-5	3,086611E-5	kg	*	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 147: Mapeamento do processo BR: Lagoa de Contenção - evento de rompimento (continua)

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse					
Plano auxiliar	BR: Lagoa de Contenção - evento de rompimento					
Fator de escala	1					
Entrada de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
outp_vin	1-(vazamento)	1				[%] Fluxo de saída remanescente para os processos padrões (1 -> sem evento de vazamento)
trans	if(vazamento>0;1;0)	0				Controle -> se 0, sem vazamento; se maior de 0, existe vazamento. O processo é ligado.
vazamento	if(trnt_vin.trnt_vin10=0;trnt_vin.trnt_vin;trnt_vin.trnt_vin100)	0				[%] Percentual de vinhaça que vazou da lagoa de contenção

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 148: Mapeamento do processo BR: Lagoa de Contenção - evento de rompimento (conclusão)

vazamento 10	((trnt_vin.lagoa_vinhaca)*trnt_vin.trnt_vin)*(if(trnt_vin.trnt_vin100=1;0;1))/573	0					[kg] Volume de vinhaça em situação de vazamento de 10% a 30%	
vazamento 100	((trnt_vin.lagoa_vinhaca)*trnt_vin.trnt_vin100)/573	0					[kg] Volume de vinhaça em situação de vazamento de 100%, com verificação (desligando de 10% a 30%)	
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
trans	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	0	1	kg		0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

vazamento10	BR: vinasse, from sugarcane, wasted [Resources]	Mass	0	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
vazamento100	BR: vinasse, from sugarcane, wasted complete [Resources]	Mass	0	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 149: Mapeamento do processo GLO: Pipeline

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	GLO: Pipeline							
Fator de escala	525							
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
Auslast		0,28			0 %	[-] average utilisation ratio (28%)		
Distanz		100			0 %	[km] distance start - destination		
Verbrauch	$3,6*(71,387*Auslast^2+9,4623*Auslast-0,3373)/1000*Distanz$	2,847198528				[MJ] Power per ton cargo		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature
Verbrauch	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	0,002847198528	0,001	MJ	X	0 %	Literature
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 150: Mapeamento do processo GLO: Pipeline

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	GLO: Pipeline							
Fator de escala	258							
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
Auslast		0,28			0 %	[-] average utilisation ratio (28%)		
Distanz		100			0 %	[km] distance start - destination		
Verbrauch	$3,6*(71,387*Auslast^2+9,4623*Auslast-0,3373)/1000*Distanz$	2,847198528				[MJ] Power per ton cargo		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature

Verbrauch	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	0,002847 198528	0,001	MJ	X	0 %	Literature
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 151: Mapeamento do processo GLO: Pipeline

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	GLO: Pipeline							
Fator de escala	49,8							
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
Auslast		0,28			0 %	[-] average utilisation ratio (28%)		
Distanz		100			0 %	[km] distance start - destination		
Verbrauch	$3,6*(71,387*Auslast^2+9,4623*Auslast-0,3373)/1000*Distanz$	2,847198528				[MJ] Power per ton cargo		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature
Verbrauch	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	0,002847 198528	0,001	MJ	X	0 %	Literature
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 152: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so>

Plano principal	JM Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>							
Fator de escala	258							
Entradas de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários		
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km		
payload		9,3			0 %	[t] default = 17,3 t		
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm		
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1		
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel		
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70		
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23		
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07		

spec_diesel_tot	$((\text{share_mw} * \text{spec_Diesel_mw}) + (\text{share_ru} * \text{spec_Diesel_ru}) + (\text{share_ur} * \text{spec_Diesel_ur})) * \text{distance}$	0,00208 810411 128719						[kgdiesel/kg] diesel consumption weigthed
tonnage	utilisation*payload	7,905						[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %			[-] utilisation by mass, default = 0,85
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00208 810411 128719	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 153: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (continua)

Plano principal	JM Storage_use_vinasse					
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>					
Fator de escala	49,8					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		9,3			0 %	[t] default = 17,3 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	$\text{share_mw} + \text{share_ru} + \text{share_ur}$	1				Check - value must be 1
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 154: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (conclusão)

share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07
spec_diesel_tot	$((\text{share_mw} * \text{spec_Diesel_mw}) + (\text{share_ru} * \text{spec_Diesel_ru}) + (\text{share_ur} * \text{spec_Diesel_ur})) * \text{distance}$	0,00208 810411 128719				[kgdiesel/kg] diesel consumption weigthed
tonnage	utilisation*payload	7,905				[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %	[-] utilisation by mass, default = 0,85
Entradas						

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00208 810411 128719	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 155: Mapeamento do processo BR: Canais de fertirrigação

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	BR: Canais de fertirrigação							
Fator de escala								
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
inp_vin	1-(vazamento)	1						
vazamento	if(trnt_vin.trnt_vin100=0;trnt_vin.trnt_vin;trnt_vin.trnt_vin100)	0						
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	555,66	555,66	kg	X	0 %	Literature
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	555,66	555,66	kg	X	0 %	Calculated
inp_vin	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0,0007288344	0,0007288344	kg	*	0 %	Literature
inp_vin	Methane, non-fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	4,1347E-5	4,1347E-5	kg	*	0 %	Literature
inp_vin	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,94575E-5	1,94575E-5	kg	*	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 156: Mapeamento do processo BR: Armazenamento e dispersão vinhaça campo

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	BR: Armazenamento e dispersão vinhaça campo							
Fator de escala								
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
inp_vin	1-(vazamento)	1						
vazamento	if(trnt_vin.trnt_vin100=0;trnt_vin.trnt_vin;trnt_vin.trnt_vin100)	0						
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Diesel [Refinery products]	Mass	16,66	16,66	kg	X	0 %	Literature
inp_vin	Electricity from	Energy	0,560617	0,560	MJ	X	0 %	Calculate

	solid biomass [Resources]	(net calorific value)	1999999	61719999				d
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	273,42	273,42	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	273,42	273,42	kg	X	0 %	Calculated
inp_vin	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0,003553067	0,003553067	kg	*	0 %	Literature
inp_vin	Methane, non-fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	2,030183E-5	2,030183E-5	kg	*	0 %	Literature
inp_vin	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	9,55379E-7	9,55379E-7	kg	*	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 157: Mapeamento do processo BR: Moto_Bomba > (continua)

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse							
Plano auxiliar	BR: Moto_Bomba							
Fator de escala								
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
inp_vin	1-(vazamento)	1						
vazamento	if(trnt_vin.trnt_vin100=0;trnt_vin.trnt_vin;trnt_vin.trnt_vin100)	0						
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Diesel [Refinery products]	Mass	16,66	16,66	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	52,92	52,92	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 158: Mapeamento do processo BR: Moto_Bomba > (conclusão)

Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	52,92	52,92	kg	X	0 %	Literature
inp_vin	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00068848821	0,00068848821	kg	*	0 %	Literature
inp_vin	Methane, non-fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	3,93394E-6	3,93394E-6	kg	*	0 %	Literature
inp_vin	Nitrous oxide (laughing gas)	Mass	1,85126724E-6	1,85126724E-6	kg	*	0 %	Literature

	[Inorganic emissions to air]			4E-6				
--	------------------------------	--	--	------	--	--	--	--

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 159: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_Storage_use_vinasse						
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “JM_Storage_use_vinasse”

Associado ao plano destacado, tem-se o processo “JM_Transient_vinasse_smaller 100 percentage”, preparado para o controle e cálculo de eventos transientes entre 10% e 30%. Este processo tem as seguintes características:

Tabela 160: Mapeamento do processo JM_Transient_vinasse_smaller 100 percentage (continua)

Processo	JM_Transient_vinasse_smaller 100 percentage					
Plano principal	JM Storage_use_vinasse					
Finalidade	Controle de eventos transientes de vazamento entre 10% e 30%					
Entrada de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário
inp_vin	$((trnt_vin.lagoa_vinhaca * vazamento10) * ver_ev100 * ver_ev10) * trnt_vin.densidade$	0				[kg] Quantidade de vinhaça que vazou, em [kg]
vazamento10	$trnt_vin.trnt_vin$	0				[%] Percentual de vinhaça que vazou da lagoa de contenção
ver_ev10	$if(trnt_vin.trnt_vin > 0; 1; 0)$	0				controle de eventos

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 161: Mapeamento do processo JM_Transient_vinasse_smaller 100 percentage (conclusão)

ver_ev100	$if(trnt_vin.trnt_vin10 = 1; 0; 1)$	1						[on/off] Verificação de ocorrência de vazamento completo, ou acima de 30%
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	BR: vinasse, from sugarcane, wasted [Resources]	Mass	0	1	kg	X	0 %	Calculated

Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	0	1	kg	X	0 %	Calculate d

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “**JM_Storage_use_vinasse**”

Ainda associado ao plano acima, tem-se o processo “JM_Transient_vinasse_equal 100 percentage”, preparado para o controle e calculo de eventos transientes de 100% de vazamento do conteúdo do reservatório. Este processo tem as seguintes características:

Tabela 162: Mapeamento do processo JM Transient vinasse_equal 100 percentage

Processo	JM Transient vinasse_equal 100 percentage							
Plano principal	JM Storage_use_vinasse							
Finalidade	Controle de eventos transientes de vazamento iguais a 100%							
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
inp_vin	trnt_vin.lagoa_vinhaca*vazamento100*trnt_vin.densidade	0				Equação de controle para a liberação do volume do reservatório, em kg.		
vazamento 100	trnt_vin.trnt_vin100	0				[on/off] Ocorrência de vazamento completo da lagoa de contenção de vinhaça		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	BR: vinasse, from sugarcane, wasted complete [Resources]	Mass	0	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciad o)
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
inp_vin	Vinhaça pós lagoa [Resources]	Mass	0	1	kg	X	0 %	Calculate d

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano Principal: “**JM_Storage_use_vinasse**”

Observa-se que o processo “BR: JM Vinasse reservoir_static situation <u-so>”, foi preparado para o calculo das emissões dos GEE de interesse considerando o reservatório com a totalidade da massa acumulada. Este processo tem as seguintes características:

Tabela 163: Mapeamento do processo JM Vinasse reservoir_static situation

Processo	JM Vinasse reservoir_static situation							
Plano principal	JM Storage_use_vinasse							
Fator de escala	1							
Finalidade	Controle de emissões de GEE quando reservatório com 100% do volume acumulado							
Entrada de parâmetros								
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentário		
ativ	0	0				[off/on] Se valor igual a 1, ativa as emissões, se 0, desativa as emissões		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vinhaça [Resources]	Mass	1	1	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
ativ	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0	1824,07458	kg	*	0 %	(Nenhum enunciado)
ativ	Methane, non-fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	0	400,4679	kg	*	0 %	(Nenhum enunciado)
ativ	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	0	1,602	kg	*	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Outros processos, não participantes do fluxo principal:

Plano: “**JM- Water demineralization**”

Mostra-se na Tabela 164 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 164: Mapeamento do processo BR: Preparo: Picador_573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_ Water demineralization			
Fator de escala				
Entradas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	45004,2611895515	kg	X
Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Water (desalinated; deionised) [Operating materials]	Mass	42997,7017734569	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Water demineralization é composto pelos seguintes planos auxiliares:

JM- Water demineralization

Plano de processo GaBi: Mass [kg]
Os nomes dos processos básicos são mostrados.



Figura 48 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Water demineralization

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 165, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 48:

Tabela 165: Mapeamento do processo BR: JM - Estação de Desmineralização

Plano principal	JM_Water demineralization						
Plano auxiliar	BR: JM - Estação de Desmineralização						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	78,5	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (desalinated; deionised) [Operating materials]	Mass	75	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
	Filter dust [Waste for recovery]	Mass	3,49	kg	*	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 166: Mapeamento do processo BR: JM - Caixa de água desmineralizada

Plano principal	JM_Water demineralization						
Plano auxiliar	BR: JM - Caixa de água desmineralizada						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	75	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	75	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano: “**JM - Water treatment**”

Destaca-se na Tabela 167 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 167: Mapeamento do processo BR: Preparo: Picador_573 t/h <u-so>

Plano principal	JM_Water treatment			
Fator de escala				
Entradas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	992,961374166783	MJ	X
Water (fresh water) [Water]	Mass	220402,987098292	kg	X
Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	220402,987098292	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_Water treatment é composto pelos seguintes planos auxiliares:

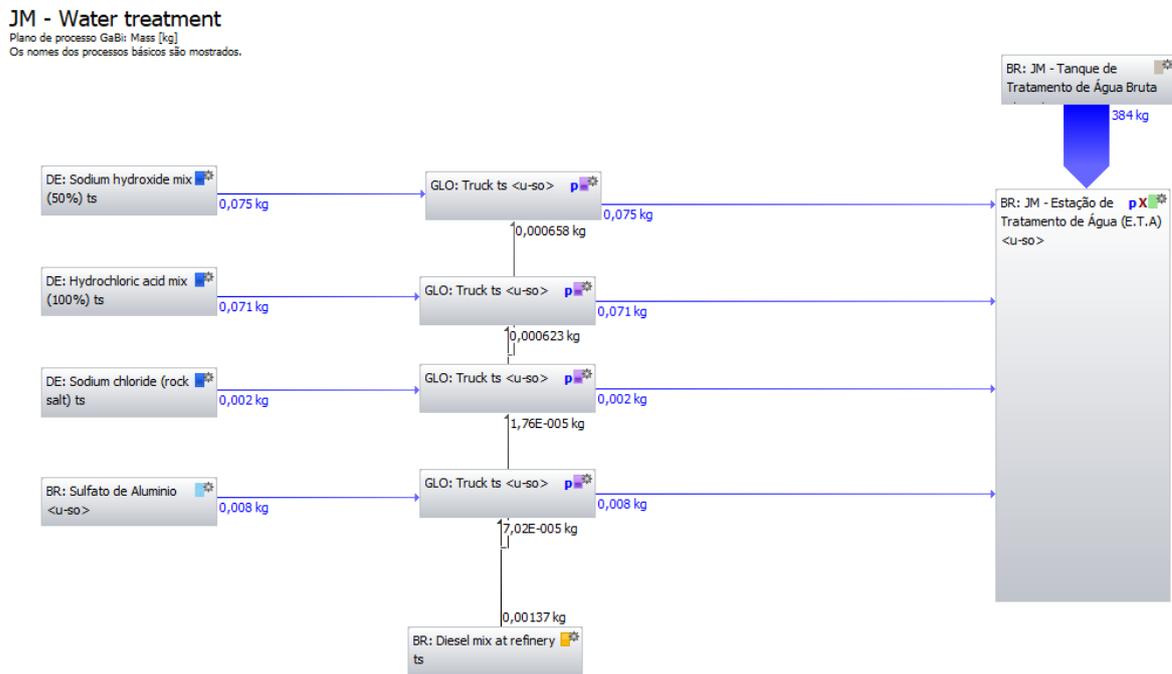


Figura 49 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Water treatment

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 168, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 49:

Tabela 168: Mapeamento do processo DE: Sodium hydroxide mix (50%)

Plano principal	JM_Water treatment						
Plano auxiliar	DE: Sodium hydroxide mix (50%)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	1,48	Origem
	Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 169: Mapeamento do processo DE: Hydrochloric acid mix (100%)

Plano principal	JM_Water treatment						
Plano auxiliar	DE: Hydrochloric acid mix (100%)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Hydrochloric acid (100%) [Inorganic intermediate products]	Mass	1	1	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 170: Mapeamento do processo DE: Sodium chloride (rock salt)

Plano principal	JM_Water treatment						
Plano auxiliar	DE: Sodium chloride (rock salt)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sodium chloride (rock salt) [Inorganic intermediate products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 171: Mapeamento do processo BR: Sulfato de Alumínio

Plano principal	JM_Water treatment						
Plano auxiliar	BR: Sulfato de Alumínio						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sulfato de Alumínio [Non renewable resources]	Mass	0,008	kg		0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Sulfato de Alumínio [Non renewable resources]	Mass	0,008	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 172: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal	JM_ Water treatment						
Plano auxiliar	BR: Diesel mix at refinery ts						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Obs.: O plano auxiliar GLO:Truck ts <u-so> é igual em todas as situações dentro do plano principal JM_ Water treatment.

Tabela 173: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (continua)

Plano principal	JM_ Water treatment					
Plano auxiliar	GLO: Truck ts <u-so>					
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 174: Mapeamento do processo GLO: Truck ts <u-so> (conclusão)

share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1					Check - value must be 1	
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %		[-] share of biogenic C in fuel	
share_mw		0,7	0	1	0 %		[-] driving share motorway , default = 0,70	
share_ru		0,23	0	1	0 %		[-] driving share rural , default = 0,23	
share_ur		0,07	0	1	0 %		[-] driving share urban , default = 0,07	
spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,00208 810411 128719					[kgdiesel/kg] diesel consumption weighthed	
tonnage	utilisation*payload	14,705					[t]	
utilisation		0,85	0	1	0 %		[-] utilisation by mass, default = 0,85	
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00168	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 175: Mapeamento do processo BR: JM - Tanque de Tratamento de Água Bruta

Plano principal	JM_ Water treatment							
Plano auxiliar	BR: JM - Tanque de Tratamento de Água Bruta							
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Water (fresh water) [Water]	Mass	323	kg	X	0 %	Measured	
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Water (fresh water) [Water]	Mass	323	kg	X	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 176: Mapeamento do processo BR: JM - Estação de Tratamento de Água (E.T.A) (continua)

Plano principal	JM_ Water treatment				
Plano auxiliar	BR: JM - Estação de Tratamento de Água (E.T.A)				
Parâmetros					
Parametro	Fórmula	Valor	Minimo	Maximo	Desvio padrão
H2O_tratada	H2O_total+NAOH+NACL+HCL+Al2_SO4_3	1525,162			
H2O_total	H2O_ext+H2O_trat+H2O_fer+H2O_dest+H2O_açu+H2O_cog	1525			
NAOH		0,078			0 %

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 177: Mapeamento do processo BR: JM - Estação de Tratamento de Água (E.T.A.) (conclusão)

NACL		0,002				0 %		
HCL		0,074				0 %		
H2O_trat		120				0 %		
H2O_fer		743				0 %		
H2O_ext		303				0 %		
H2O_dest		193				0 %		
H2O_cog		0				0 %		
H2O_açu		166				0 %		
Al2_SO4_3		0,008				0 %		
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,73	1,73	MJ	X	0 %	Estimated
	Hydrochloric acid (32%) [Inorganic intermediate products]	Mass	0,071	0,071	kg	X	0 %	Measured
	Sodium chloride (rock salt) [Non renewable]	Mass	0,002	0,002	kg	X	0 %	Measured

	resources]							
	Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products]	Mass	0,075	0,075	kg	X	0 %	Measured
	Sulfato de Alumínio [Non renewable resources]	Mass	0,008	0,008	kg	X	0 %	Measured
	Water (fresh water) [Water]	Mass	384	384	kg	X	0 %	Measured
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	384	384	kg	X	0 %	Estimated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Plano: “JM - Water catchment”

Evidenciamos na Tabela 178 o resultado final do mapeamento dos fluxos mássicos e energéticos internos a esse plano:

Tabela 178: Mapeamento do plano principal Water catchment (continua)

Plano principal	JM_ Water catchment			
Fator de escala				
Entradas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1721,71772270321	MJ	X
Water (lake water) [Water]	Mass	952881,70515126	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 179: Mapeamento do plano principal Water catchment (conclusão)

Saídas				
Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Water (fresh water) [Water]	Mass	952881,70515126	kg	X

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

O plano JM_ Water catchment é composto pelos seguintes planos auxiliares:

JM - Water catchment
 Plano de processo Gabi: Mass [kg]
 Os nomes dos processos básicos são mostrados.

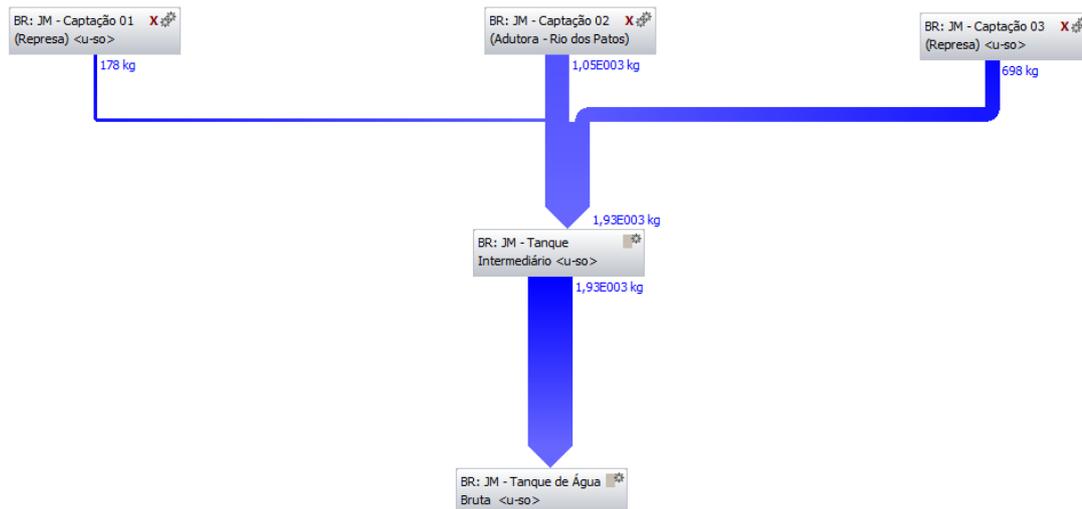


Figura 50 - Planos auxiliares componentes do Plano JM_Water catchment

(Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Para a obtenção dos valores da Tabela 180, destaca-se cada um dos planos auxiliares mostrados na Figura 50:

Tabela 180: Mapeamento do processo BR: JM - Captação 01 (Represa)

Plano principal	JM_Water catchment						
Plano auxiliar	BR: JM - Captação 01 (Represa)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,16	MJ	X	0 %	Estimated
	Water (lake water) [Water]	Mass	178	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (fresh water) [Water]	Mass	178	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 181: Mapeamento do processo BR: JM - Captação 02 (Adutora - Rio dos Patos)

Plano principal	JM_Water catchment						
Plano auxiliar	BR: JM - Captação 02 (Adutora - Rio dos Patos)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,16	MJ	X	0 %	Estimated
	Water (lake water) [Water]	Mass	1050	kg		0 %	Measured

Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (lake water) [Water]	Mass	1050	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 182: Mapeamento do processo BR: JM - Captação 03 (Represa)

Plano principal	JM_Water catchment						
Plano auxiliar	BR: JM - Captação 03 (Represa)						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,16	MJ	X	0 %	Estimated
	Water (lake water) [Water]	Mass	698	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (fresh water) [Water]	Mass	698	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 183: Mapeamento do processo BR: JM - Tanque Intermediário

Plano principal	JM_Water catchment						
Plano auxiliar	BR: JM - Tanque Intermediário						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (fresh water) [Water]	Mass	1920	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (fresh water) [Water]	Mass	1920	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 184: Mapeamento do processo BR: JM - Tanque de Água Bruta (continua)

Plano principal	JM_Water catchment						
Plano auxiliar	BR: JM - Tanque de Água Bruta						
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (fresh water) [Water]	Mass	1920	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 185: Mapeamento do processo BR: JM - Tanque de Água Bruta (conclusão)

Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (fresh water) [Water]	Mass	1920	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**BR: Condensate tank <u-so>**”

Tabela 186: Mapeamento do processo BR: Condensate tank

Processo principal		BR: Condensate tank					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Flegmaca [Resources]	Mass	45,2	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	877,08	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	274,68	kg	X	0 %	Measured
	Water vapour (sewage correction) [Thermal energy]	Mass	647,6	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**BR: Wastewater tank**”

Tabela 187: Mapeamento do processo BR: Wastewater tank

Processo principal		BR: Wastewater tank					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	299,64	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	299,64	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**BR: Treated water_various uses**”

Tabela 188: Mapeamento do processo BR: Treated water_various uses (continua)

Processo principal		BR: Treated water_various uses					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	Mass	17,45	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 189: Mapeamento do processo BR: Treated water_various uses (conclusão)

Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “BR: Raw water_gardening_cleaning_administration”

Tabela 190: Mapeamento do processo BR: Treated water_various uses

Processo principal		BR: Treated water_various uses					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Fresh water [water] [Resources]	Mass	95,99	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “BR: JM Electricity sold_to CPFL”

Tabela 191: Mapeamento do processo BR: JM Electricity sold_to CPFL

Processo principal		BR: JM Electricity sold_to CPFL					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	3,6	MJ	X	0 %	Literature
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
Utilizado processo padrão do GaBi Education							

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “BR: JM Bagasse leftovers”

Tabela 192: Mapeamento do processo BR: JM Bagasse leftovers

Processo principal		BR: JM Bagasse leftovers					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Bagaçõ [Resources]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “GLO: JM Exhaust steam leftover”

Tabela 193: Mapeamento do processo BR: JM Exhaust steam leftover

Processo principal		BR: JM Exhaust steam leftover					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (MJ) [steam]	Energy (net calorific value)	2,775	MJ	X	0 %	Literature
	Water (process water) [Operating materials]	Mass	1	kg	X	0 %	Literature
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (lp) [steam]	Mass	1	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**BR: JM Vegetable steam_leftover**”

Tabela 194: Mapeamento do processo : JM Vegetable steam_leftover

Processo principal		BR: JM Vegetable steam_leftover					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Steam (MJ) [steam]	Energy (net calorific value)	2,775	MJ	X	0 %	Literature
	Water (process water) [Operating materials]	Mass	1	kg	X	0 %	Literature
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Vapor Vegetal V1 [Resources]	Mass	1	kg	X	0 %	Literature

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**BR: JM Sugar storage**”

Tabela 195: Mapeamento do processo BR: JM Sugar Storage > (continua)

Processo principal		BR: JM Sugar Storage				
Entrada de parametros						
Parametro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	
açúcar_cristal	$açucar.fator_açúcarCristal * açúcar.cristal_tcana * açúcar.fator_açúcar$	0				
açúcar_orgânico	$açucar.fator_açúcarOrgânico * açúcar.orgânico_tcana * açúcar.fator_açúcar$	88				
açúcar_VHP	$açucar.fator_açúcarVHP * açúcar.VHP_tcana * açúcar.fator_açúcar$	0				
elet_tcana		0,3599				
eletricidade	$if(açucar.fator_açúcar=0;0;elet_tcana * açúcar.fator_açúcar)$	0				

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 196: Mapeamento do processo BR: JM Sugar Storage > (conclusão)

Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Açúcar_Orgânico [Resources]	Mass	102	102	kg	X	0 %
eletricidade	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1	1	MJ	X	0 %
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Açúcar_Orgânico [Resources]	Mass	102	102	kg	X	0 %

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “BR: JM Storage_dry yeast”

Tabela 197: Mapeamento do processo BR: JM Storage_dry yeast

Processo principal		BR: JM Storage_dry yeast					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Levedura seca [Resources]	Mass	0,933999394	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Levedura seca [Resources]	Mass	0,933999394	kg	X	0 %	(Nenhum enunciado)

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “BR: JM Ethanol storage”

Tabela 198: Mapeamento do processo BR: JM Ethanol storage

Processo principal		BR: JM Ethanol storage					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	0,008590064	MJ	X	0 %	Estimated
	Etanol_Anidro [Resources]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured
	Etanol_Hidratado [Resources]	Mass	1,529064869	kg	X	0 %	Measured
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Etanol_Anidro [Resources]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured
	Etanol_Hidratado [Resources]	Mass	1,529064869	kg	X	0 %	Measured

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “BR: Electricity_intern use”

Tabela 199: Mapeamento do processo BR: Electricity_intern use

Processo principal		BR: Electricity_intern use					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,367989056	MJ	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**Electricity_agricultural use**”

Tabela 200: Mapeamento do processo BR: Electricity_agricultural use

Processo principal		BR: Electricity_agricultural use					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	10,40391677	MJ	X	0 %	(Nenhum enunciado)
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**Electricity_support and maintenance**”

Tabela 201: Mapeamento do processo BR: Electricity_support and maintenance

Processo principal		BR: Electricity_support and maintenance					
Entradas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Electricity from solid biomass [System-dependent]	Energy (net calorific value)	1,367989056	MJ	X	0 %	Estimated
Saídas							
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**GLO: Truck**”

Obs: o processo GLO: Truck se repete como um dos processos periféricos:

Tabela 202: Mapeamento do processo GLO: Truck > (continua)

Plano principal		GLO: Truck				
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		17,3			0 %	[t] default = 17,3 t

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 203: Mapeamento do processo GLO: Truck > (conclusão)

ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07
spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,00208 810411 128719				[kgdiesel/kg] diesel consumption weighed
tonnage	utilisation*payload	14,705				[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %	[-] utilisation by mass, default = 0,85

Entradas

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,0017	1	kg	X	0 %	Calculated

Saídas

Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: “**GLO: Truck-trailer**”

Obs: o processo GLO:Truck-trailer se repete como um dos processos periféricos:

Tabela 204: Mapeamento do processo GLO: Truck-trailer (continua)

Plano principal		GLO: Truck				
Entradas de parâmetros						
Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Comentários
distance		100			0 %	[km] distance start - end, default = 100 km
payload		27			0 %	[t] default = 27 t
ppm_sulfur		10	0	2000	0 %	[ppm] sulphur content in diesel, default Europe = 10 ppm
share_check	share_mw+share_ru+share_ur	1				Check - value must be 1
share_CO2_bio		0,05	0	1	0 %	[-] share of biogenic C in fuel
share_mw		0,7	0	1	0 %	[-] driving share motorway , default = 0,70
share_ru		0,23	0	1	0 %	[-] driving share rural , default = 0,23
share_ur		0,07	0	1	0 %	[-] driving share urban , default = 0,07

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Tabela 205: Mapeamento do processo GLO: Truck-trailer (conclusão)

spec_diesel_tot	((share_mw*spec_Diesel_mw)+(share_ru*spec_Diesel_ru)+(share_ur*spec_Diesel_ur))*distance	0,002088 10411128 719						[kgdiesel/kg] diesel consumption weighed
tonnage	utilisation*payload	22,95						[t]
utilisation		0,85	0	1	0 %			[-] utilisation by mass, default = 0,85
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated
spec_diesel_tot	Diesel [Refinery products]	Mass	0,00131	1	kg	X	0 %	Calculated
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Fator	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem
	Cargo [Others]	Mass	1	1	kg	X	0 %	Calculated

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

Processo: **BR: Diesel mix at refinery ts**

Tabela 206: Mapeamento do processo BR: Diesel mix at refinery ts

Plano principal		JM_Electricity and steam generation						
Plano auxiliar		BR: Diesel mix at refinery ts						
Entradas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
Utilizado processo padrão do GaBi Education								
Saídas								
Parâmetro	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo	Desvio	Origem	
	Diesel [Refinery products]	Mass	1	kg	X	0 %	Measured	

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de *Gabi Education* – modelo tecnológico Usina Jalles Machado S.A.)

ANEXO 2 – ESTIMATIVADE INCERTEZAS DO TIPO A E B E MATRIZ PEDIGREE.

Inicialmente é discutido a estimativade incertezas do tipo A e B.

1 Estimativade incertezas do tipo A e B

Incerteza Tipo A: calculada a partir de uma série de observações repetidas, resultando em uma variância estimada σ^2 (também conhecido como erro quadrático médio) e um desvio padrão da média σ , raiz quadrada positiva da variância estimada σ^2 , e pode ser entendida como uma função densidade de probabilidade derivada de uma distribuição de frequência observada, conforme é mostrado na Equação 13:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu)^2 \quad (13)$$

Na Equação 1, tem-se que μ representa a média das médias, dada pela Equação 14:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (14)$$

Onde n é a quantidade de medições realizadas. Embora a variância (σ^2), que caracteriza parâmetros analisados por meio de métodos estatísticos seja uma grandeza fundamental, o desvio padrão da média (σ), produto da raiz quadrada de (σ^2), é um elemento mais conveniente para representar o valor da incerteza, pois apresenta as mesmas dimensões do mensurando e permite melhor compreensão que a variância, sendo denominado de Incerteza Padrão Tipo A.

Incerteza Tipo B: trata-se de avaliação de incerteza de dados obtidos por outros meios que não por meio de uma série de observações (medidas). É usualmente baseada em julgamentos científicos, utilizando todas as informações disponíveis, obtidas a partir de dados de medições anteriores, experiência ou conhecimento quanto ao comportamento de equipamentos, especificações, dados de calibrações ou certificações, incertezas atribuídas às informações de manuais ou publicações, procedimentos operacionais, efeitos de condições ambientais sobre as medições e outras assunções, etc., resultando em uma variância padrão Tipo B (σ^2) e desvio padrão estimado, ou Incerteza Padrão Tipo B (σ), que é baseada no grau de crença de que um evento vá ocorrer (probabilidade subjetiva) (JCGM, 2008; LEUNG; STEELE, 2013; WEIDEMA, 1998).

Uma vez estabelecido um valor de referência para um mensurando, é importante se estabelecer uma margem de confiança que possa expressar um intervalo em torno do qual é possível se encontrar o valor real da medida. Denomina-se esse intervalo como fator de abrangência, sendo representado como (k).

Sendo o valor médio de um mensurando (μ) e o fator de abrangência (k), a expressão do valor da medida (x) associada ao nível de confiança pode ser expressa por $x = \mu \pm k$. Para se estabelecer o valor de (k), que produz um intervalo correspondente a um nível de confiança (P) exige o conhecimento do tipo de distribuição de probabilidade da medição e da incerteza padrão combinada. Utilizando-se a distribuição de probabilidades normal, e amparado pelo Teorema Central do Limite, pode-se definir na Tabela 198 os valores de (P) mais aceitos (DOBRIC; GARMIRIAN, 2015; JCGM, 2008).

Tabela 207: Valores de níveis de confiança (P), considerando distribuição normal e o desvio padrão da média

Nível de Confiança (P), em (%)	Fator de abrangência da Incerteza (k)
68,27	(σ)
90	1,645 x (σ)
95	1,960 x (σ)
95,45	2 x (σ)
99	2,576 x (σ)
99,73	3 x (σ)

Fonte: (JCGM, 2008) (Adaptado)

Na sequência, traze-se uma discussão sobre a Matriz Pedigree.

2 Matriz Pedigree

Desenvolver muitas vezes é necessário no estudo de problemas complexos, notadamente os ambientais, e em processos de simplificação de partes de cálculos, na conexão de modelos quando os mesmos têm diferentes escalas espaciais, temporais ou tecnológicas. Essas suposições, desenvolvidas implícita ou explicitamente, podem envolver julgamentos subjetivos, o que pode limitar a qualidade de modelos, aumentando a sua incerteza.

Dentro de ACV, principalmente, a Matriz Pedigree é um instrumento para avaliação de incerteza que aborda e estende os valores epistêmicos e não epistêmicos, acrescentando o julgamento de especialistas de confiabilidade e um processo multicritério da sustentação dos números atribuídos às opiniões (pedigree). É um instrumento que permite codificar o juízo

pericial qualitativo, construída na forma de tabela (CIROTH, 2009; KLOPROGGE; VAN DER SLUIJS; PETERSEN, 2011; WEIDEMA, 1998), onde:

- a) Na primeira linha, para cada uma de suas colunas, são informados valores que orientam a transformação dos critérios de qualidade para uma escala numérica (indicadores de pontuação);
- b) Na sua primeira coluna, tem-se a descrição de um conjunto de indicadores que orientam e definem o escopo do dado (Indicadores de análise), e;
- c) Em cada uma das demais células da tabela, tem-se uma descrição qualitativa para a mensuração do escopo e domínio do dado (indicadores de qualidade), estabelecendo um critério para a conversão de um domínio qualitativo do indicador de qualidade para um valor numérico adequado, considerando os indicadores de pontuação e indicadores de análise.

O objetivo da Matriz é permitir ao analista, a partir da descrição qualitativa dos aspectos relevantes de um objeto do estudo, sua transcrição na forma quantitativa, sendo uma ferramenta, portanto, para a quantificação de descrições de avaliações qualitativas.

Na sequência, destaca-se na Tabela 199 um exemplo da Matriz Pedigree, voltada para a qualidade de dados, e que se destina a todos os tipos de processos em todos os setores da sociedade. A sua interpretação dependerá do tipo de processo, do setor industrial, do propósito da ACV e da importância de cada processo dentro do ciclo de vida específico:

Tabela 208 - Matriz Pedigree para avaliação da qualidade de dados (continua)

Indicadores de pontuação	1	2	3	4	5
Indicadores de análise, os quais são independentes do estudo nos quais os dados são aplicados					
Confiabilidade da fonte	Dados verificados com base em medição	Dados parcialmente verificados, baseados em suposições, ou dados não verificados com base em medições	Dados não verificados, parcialmente baseados em suposições	Qualidade estimada (por exemplo, por um <i>expert</i> no tema)	Dados não qualificados de origem desconhecida.

Fonte: WEIDEMA (1998) (Adaptado)

Tabela 209 - Matriz Pedigree para avaliação da qualidade de dados (conclusão)

Integridade	Dados representativos de uma amostra de locais, durante um período adequado para equilibrar as flutuações normais	Dados representativos de um pequeno número de locais, mas de períodos adequados	Dados representativos de um número adequado de locais, mas de períodos mais curtos	Dados representativos, mas de um pequeno número de locais e de períodos curtos ou dados incompletos de um número adequado de locais e períodos	Representatividade desconhecida ou dados incompletos de um pequeno número de locais e/ou de períodos curtos
Indicadores relacionados às condições tecnológicas e de produção natural sob os quais os dados são válidos e, portanto, dependentes dos objetivos de qualidade de dados para o estudo no qual os dados são aplicados.					
Correlação temporal	Menos de 03 anos de diferença para o ano do estudo	Menos de 06 anos de diferença para o ano do estudo	Menos de 10 anos de diferença para o ano do estudo	Menos de 15 anos de diferença para o ano do estudo	Idade dos dados desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o ano do estudo
Correlação geográfica	Dados da área estudada	Dados médios de área maior, na qual a área estudada está incluída	Dados de uma área de produção similar	Dados de área com ligeira similaridade com as condições de produção	Dados de área desconhecida ou área com condições de produção muito diferentes
Correlação tecnológica adicional	Dados de empreendimentos, processos e materiais sob estudo	Dados de processos e materiais sob estudo mas de diferentes empreendimentos	Dados de processos e materiais sob estudo, mas de diferentes tecnologias	Dados de processos ou materiais relacionados mas de mesma tecnologia	Tecnologia desconhecida ou dados de materiais e processos de outras tecnologias

Fonte: WEIDEMA (1998) (Adaptado)

A matriz é adaptativa, podendo a escala de classificação e os critérios serem selecionados de acordo com as necessidades do objeto de estudo, não havendo uma exigência formal sobre a sua estrutura (CIROTH, 2009; WEIDEMA, 1998).

Uma matriz com valores que expressam o grau de contribuição da incerteza acumulada para o indicador pode ser construída. Esses fatores de incerteza foram baseados em julgamentos feitos por peritos no assunto (FRISCHKNECHT; NIELS, 2007). Abaixo, tem-se na Tabela 201 o resultado encontrado:

Tabela 210: Valores estimados de incerteza para Matriz Pedigree

Indicadores de Incerteza Acumulada – Matriz Pedigree					
Indicador de pontuação	1	2	3	4	5
Confiabilidade da fonte	1	1,05	1,10	1,20	1,50
Integridade	1	1,02	1,05	1,10	1,20
Correlação temporal	1	1,03	1,10	1,20	1,50
Correlação geográfica	1	1,01	1,02		1,10
Correlação tecnológica adicional	1		1,20	1,50	2,00

Fonte: FRISCHKNECHT e NIELS (2007) (Adaptado)

Para cada uma das informações qualitativas, deve ser realizada a sua avaliação por meio da atribuição de indicadores de pontuação para cada um dos indicadores de qualidade da matriz Pedigree. Na sequência, os graus de incerteza (GI) (considerando intervalo de 95%) são calculados por meio da Equação 14, conforme proposto por (FRISCHKNECHT; NIELS, 2007):

$$GI_{95\%} = \exp^{\sqrt{[\ln(IQ_1)]^2 + [\ln(IQ_2)]^2 + [\ln(IQ_3)]^2 + \dots + [\ln(IQ_n)]^2}} \quad (14)$$

Onde IQ_n é o valor do indicador de incerteza acumulada para o indicador de qualidade analisado. (WEIDEMA *et al*, 2013) consideram que para os (GI), a distribuição normal é assumida como independente, ou seja, o valor da covariância é zero, a variância total é a soma das variâncias de cada indicador de pontuação, conforme Equações 15 e 16:

$$\sigma^2(x + y) = \sigma^2(x) + \sigma^2(y) + 2cov(x, y) \quad (15)$$

E, conseqüentemente:

$$\sigma^2 = \sum_{n=1}^n \sigma_n^2 \quad (16)$$

ANEXO 3 – CÁLCULO DA EMISSÃO MÉDIA DE CO₂ EM RESERVATÓRIOS DE VINHAÇA E DE OUTROS GEE

Este Anexo 3 está estruturado em duas partes distintas:

Anexo 3 – Parte A – Discussão sobre barragens de terra e apresentação das equações fundamentais para o cálculo do rompimento e formação de onda de inundação; e,

Anexo 3 – Parte B – Apresenta os cálculos para a emissão média de CO₂ e outros GEE em reservatórios de vinhaça.

Inicialmente, é apresentado o Anexo 3 – Parte A.

Anexo 3 – Parte A – Apresenta os cálculos para a emissão média de CO₂ e outros GEE em reservatórios de vinhaça

Destaca-se que em situações de vazamento três cenários devem ser considerados para a obtenção das emissões de GEE: aquelas (i) produzidas pela vinhaça ainda no reservatório; (ii) produzidas pela vinhaça que está vazando e/ou vazou e que está depositada sobre o solo, e (iii) após sua absorção pelo solo.

Nesta situação, discute-se as emissões produzidas para cada um dos gases de interesse. Inicia-se a discussão buscando uma forma para melhor equacionar a emissão de CO₂, considerando a necessidade de utilizar a referência bibliográfica mais segura. É proposto um modelo de cálculo que considera de maneira diretamente proporcional a emissão de CO₂, a área inundada e o tempo de permanência do efluente em contato com o ar, direta ou indiretamente.

É importante destacar que a área afetada diretamente pelo derramamento não concentra todos os impactos de maior relevância, sendo utilizada somente como base de cálculo para a mensuração do ICV para os fluxos com maior contribuição para a categoria Potencial de Aquecimento Global.

O modelo para o cálculo da emissão média de CO₂ é estruturado em três fases: na primeira (Fase I), considera-se a ocorrência do evento transiente, com a inundação da área a jusante da barragem, em escoamento superficial. Na segunda (Fase II), concluí-se o derramamento e a camada de líquido depositado infiltra-se no solo, com escoamento sub-

superficial, e na terceira (Fase III), o líquido percola no solo até ultrapassar o horizonte “A” do mesmo.

Na sequência, detalha-se cada uma das fases destacadas:

1) Fase I

Nesta fase, o rompimento abrupto da barragem provoca uma onda de cheia que percorre, aproximadamente, 4.000 metros, obedecendo ao desenho topográfico do terreno e alcançando um curso d'água, que se torna o caminho preferencial do efluente.

O volume de água já presente no curso hídrico, ou a matéria orgânica arrastada pela onda não é somada a quantidade de líquido vazado, considerando-se somente o volume do efluente derramado, sua velocidade e o tempo de residência sobre o solo antes de sua absorção.

A trajetória da onda é influenciada pela declividade, curvas na topografia que moldam a área impactada, obstáculos vegetais enraizados e serrapilheira, nível do lençol freático, do curso hídrico e o índice de pluviosidade. Por não se dispor de dados de campo, a trajetória da onda foi estimada pelo volume do efluente derramado, considerando-se uma camada média final de aproximadamente 5,7 cm de líquido sobre o solo, a ser absorvido na Fase II.

O período de tempo compreendido na Fase I apresenta emissão superior a zero, pois é considerado que a emissão inicial apresenta taxa igual a emissão de CO₂ produzido pelo reservatório de vinhaça ainda não submetido ao evento transiente, em uma proporção de um para 70, sendo influenciada principalmente pela área afetada (estimada em até 70 vezes a área superficial do reservatório) e a sua evolução no tempo.

Em uma análise inicial compreende-se que o efluente levou aproximadamente 1,1 horas para alcançar a distância máxima de 4 quilômetros, não lineares, com velocidade média de deslocamento da onda de 3,36 km/h, ou 1,09 m/s. Para a estimativa da quantidade de efluente a ser submetido ao escoamento superficial foi empregada equação proposta por Conciani (2008), sendo que alguns de seus termos são ajustados, notadamente quanto à área de contribuição para a precipitação e o volume precipitado.

No primeiro caso, é transformada a área de contribuição para precipitação (ou vertente a montante) na área afetada pelo derramamento de vinhaça (vertente a jusante), que apesar de apresentarem tamanhos diferentes respeitam uma proporção em volume escoado, e no momento inicial armazenado de forma concentrada no reservatório.

Posteriormente, transforma-se o volume precipitado, medido em milímetros, pelo volume total da lagoa, também medido em milímetros, quando compreendida a área afetada pelo derramamento. Desta forma, alterando a área de contribuição e os milímetros de precipitação é possível se encontrar a velocidade de escoamento em mm^3/seg . Detalha-se os cálculos que sustentam os resultados para esta Fase I: Na Equação 17, destaca-se equação proposta por Conciani (2008) para o cálculo da vazão média, ou fluxo médio, que é utilizado como ponto de partida para a análise:

$$Q = 2,7 \times 10^{-5} \times C \times i \times A \times \omega \quad (17)$$

Na Equação 1, tem-se:

Q = fluxo médio do líquido pela brecha, em m^3/seg ;

C = coeficiente de deflúvio, ou coeficiente de “*runoff*”;

i = intensidade da precipitação em mm/hora ;

A = área de contribuição, em m^2 ;

ω = coeficiente de retardamento, expresso na forma da equação $\omega = \frac{1}{A^{(1/n)}}$

O valor de n pode ser adotado com base na declividade média do terreno. Já o coeficiente de deflúvio é obtido em tabela específica fornecida por Conciani (2008).

Tem-se:

C = assumido valor igual a 0,20, adequado para representar áreas arborizadas e gramadas;

i = para a intensidade da precipitação é assumido o valor de 63,9239, obtido a partir do seguinte cálculo:

- a) Inicialmente é estimada a lâmina superficial de líquido a ser depositada sobre o solo, dada pela divisão do volume armazenado no reservatório pela área afetada (medida por meio de ferramenta disponibilizada pelo aplicativo *Google Maps*),

ou seja: 40.046,82 m³ divididos por 700.349 m², resultando 0,05718 ou 5,718 mm;

- b) Em seguida estima-se o tempo de esvaziamento do reservatório, cálculo que considera dois fatores:
- O tempo de formação da brecha na barragem, calculada por meio de equação disponibilizada por Ahmadisharaf *et al.* (2016), sendo estimada em 46,2 minutos;
 - O tempo de esvaziamento do reservatório, estimado considerando a vazão máxima (vazão de pico), obtida de acordo com equação proposta por Froehlich (1995). Obtêm-se o valor de 89,31 m³/seg. calculado a partir. Desta forma, o tempo de esvaziamento é obtido pela divisão entre o volume contido no reservatório (40.046,82 m³) pela vazão de pico (89,31 m³/seg), resultando em 448,40 seg, ou 7,47 minutos. O tempo de esvaziamento total é assumido como a soma do tempo de formação da brecha (46,2 minutos) com o tempo de esvaziamento considerando vazão de pico (7,47 minutos), resultando 53,67 minutos decimais ou 0,8945 horas decimais.

Uma vez obtida a lâmina superficial de líquido (57,18 mm) e estimado o tempo de esvaziamento (0,8945 horas decimais), é possível o cálculo de *i*, ou o índice de precipitação, dividindo-se a lâmina de líquido pelo tempo de esvaziamento, resultando 63,9239 mm/hora.

A = a área de contribuição é assumida como 700.349 m², ou a área afetada pela inundação previamente calculada.

ω = o cálculo do coeficiente de retardamento é expresso como $1/A^{(1/n)}$, onde “*A*” é a área de contribuição e “*n*” representa a declividade média do terreno. A partir de tabela fornecida por Conciani (2008), assumesse o valor “5”, ou seja, uma declividade média igual a 1/100 (0,01). Resulta para o termo $\omega = 1/(700.349)^{(1/5)}$, ou 0,067754.

Assim, a vazão média, ou fluxo médio “*Q*”, dada pela Equação 17, pode ser encontrada:

$$Q = 2,7 \times 10^{-5} \times 0,20 \times 63,9239 \times 700.349 \times 0,067754$$

$$Q = 16,3797 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ (18)}$$

Na sequência, estima-se o tempo de permanência da lâmina de líquido sobre o solo. Nesta situação, as emissões ocorrem pela interface vinhaça/atmosfera. Para a obtenção desse valor, duas etapas de cálculo são necessárias:

a) Cálculo da velocidade do efluente vazando pela brecha:

Para este cálculo, é utilizada o valor da vazão “ Q ”, calculada como $16,3797 \text{ m}^3/\text{seg}$, e a área de escoamento.

Para a obtenção dessa área, é utilizado o valor estimado para a largura média da brecha, obtida por equação fornecida por Ahmadisharaf *et al.* 2016), obtendo-se o valor de $7,12 \text{ m}$, e a altura da barragem igual a 4 m . Pela multiplicação de $7,12 \text{ m}$ por 4 m , obtem-se $28,48 \text{ m}^2$, que não representa a área da brecha real, uma vez que esta tende a ser irregular, com formato geométrico distinto da forma quadrada.

Por aproximação, é assumida uma área igual a $14,24 \text{ m}^2$ como sendo a área da brecha. Utilizando equação fornecida por Schneider (2011), que estabelece que vazão é dada pelo produto entre velocidade de escoamento pelo área ($V_z = vxa$), pode-se obter a velocidade do fluxo, dada pela divisão do valor da vazão pela área ($v = \frac{V_z}{a}$), ou seja, $16,3797 \text{ m}^3/\text{seg}$ por $14,24 \text{ m}^2$, resultando em $1,15025 \text{ m}/\text{seg}$, ou $4,1409 \text{ km}/\text{hora}$.

b) Cálculo do tempo de espalhamento do líquido

Tendo que velocidade (v) é dada pela razão entre a distância percorrida (Δ_x) por um tempo (Δ_t) específico, pode-se estimar o tempo fazendo $\Delta_t = \Delta_x/v$.

Assim, dado que Δ_x é igual a 4.000 (distância percorrida pelo efluente) e v é igual a $4,1409 \text{ km}/\text{hora}$, tem-se $\left(\frac{4}{4,1409}\right)$, resultando em $0,96595$ horas ou aproximadamente $57,95$ minutos, constituindo-se esse valor no tempo de espalhamento. Contudo, esse valor não corresponde ao tempo real, uma vez que na medida da formação da brecha o líquido já está escorrendo sobre o solo. Assim, considera-se $28,975$ minutos como o tempo final de espalhamento.

Uma vez já tendo sido obtidos o tempo de esvaziamento do reservatório, estimado em $53,67$ minutos, e o tempo final do espalhamento líquido sobre o solo, estimado em $28,975$ minutos, o tempo total do evento é dado pela soma dos tempos $53,67$ minutos mais $28,975$

minutos, resultando em 82,645 minutos, ou 1 hora e 22 minutos aproximadamente, ou 1,44 horas decimais.

A partir desses dados, pode-se calcular a emissão de CO₂ para a Fase I, ou seja, o CO₂ emitido é dado pelo produto entre a área afetada, o tempo de espalhamento e o valor da emissão de CO₂, estimado em 0,001615 kgCO₂/m²h, obtido em Paredes (2015)(pag. 21):

- Área afetada: a área total afetada é igual à área do reservatório (10.011,705 m²) mais a área total atingida pelo espalhamento (700.349 m²). Contudo, na Fase I o evento ainda está em curso, assim assume-se 50% do total das áreas, ou seja: 355.180,3525 m²;
- Tempo total de espalhamento: 1,44 horas decimais; e
- Valor da emissão de CO₂ por m², considerando uma interface líquido atmosfera: 0,001615 kgCO₂/m²h.

O volume de CO₂ emitido pode ser obtido fazendo-se 355.180,3525 m² multiplicado por 1,44 horas multiplicado por 0,001615 kgCO₂/m²h. Desta forma, concluí-se que o volume de CO₂ emitidos na Fase I é igual a 826,007427774kg CO₂.

2) Fase II

Na Fase II, emissão é máxima no momento em que a maior área é afetada e que existe a maior espessura da camada do efluente sobre o solo, sendo este o momento de início dessa Fase. Ao longo do tempo, a área afetada é reduzida de forma desigual em função da maior ou menor permeabilidade e/ou saturação em áreas do solo, e maior ou menor espessura da camada de efluente, modificada em função de desigualdades no relevo. Assim, o efluente depositado tende a apresentar taxas decrescentes de emissão ao longo do tempo.

As principais variáveis envolvidas no cálculo da emissão de CO₂ nesta Fase II são a espessura da vinhaça no solo, a área em que o efluente está espalhado, e o tempo pra a absorção completa do líquido pelo solo. Por sua vez, a taxa de absorção pelo solo está relacionada com a sua permeabilidade, que considera, além dos fatores citados anteriormente, fatores como a consistência e a densidade do líquido a ser absorvido.

Para esta Fase II, tem-se que a área afetada é igual a 700.349 m², e a camada máxima de líquido é igual a 57,18 mm sobre o solo. Tem-se que o solo onde está localizada a usina sucroalcooleira em estudo é predominantemente do tipo latossolo roxo (SEVERIANO *et al*, 2009), que apresenta características argilosas. Sobre esse tipo de solo, duas informações extraídas da literatura são destacadas:

- a) De acordo com Conciani (2008), o coeficiente de permeabilidade varia entre $2,3 \times 10^{-4}$ m/s a $6,7 \times 10^{-9}$ m/s; e
- b) Já para (MCCUEN, 1998), o índice de permeabilidade é de 3,81 mm/h.

Por Conciani (2008), utilizando o valor de $2,3 \times 10^{-4}$ m/s (ou 0,00023 m/s), tem-se 828 mm em 1 hora. Logo, a camada de 57,18 mm de efluente são absorvidos em 0,06905 hora, ou algo próximo de 248,60 horas. Por outro lado, usando Mccuen (1998), tem-se um tempo de absorção de aproximadamente 15,00818 horas, mostrando uma grande disparidade entre as fontes. Desta forma, para este cálculo, adota-se valor próprio de permeabilidade, igual a 25,4 mm/h, obtendo como valor final 2,2512 horas de residência da vinhaça sobre o solo.

A partir desses valores, é possível se estimar as emissões de CO₂ desta Fase II, que ocorrem pela interface vinhaça/atmosfera. Essa emissão é dada a partir do produto entre:

- Área afetada: a área total afetada é igual 700.349 m²;
- Tempo total de residência da vinhaça: 2,251 horas decimais; e
- Valor da emissão de CO₂ por m², considerando uma interface líquido atmosfera: 0,001615 kgCO₂/m²h, obtido de Paredes (2015, p. 21).

Desta forma, as emissões de CO₂ para a Fase II podem ser estimadas em 2546,02424238 kgCO₂.

3) Fase III

Na Fase III, a emissão se dá pela interface solo/atmosfera, até que o líquido percorre pelo solo e ultrapasse o horizonte “A”, que de acordo com Carvalho *et al*. (2007), tem espessura média de 22 cm. Considera-se complementarmente para o presente modelo que o

horizonte “O”, composto por matéria orgânica é inexistente ou pouco considerável, característica própria de áreas de intensa atividade agrícola em monocultura.

A partir de De Oliveira, Bruna Gonçalves *et al.* (2013), entende-se que o fluxo de CO₂ no solo aumenta de forma importante nos primeiros quatro dias após a aplicação da vinhaça, provavelmente devido a rápida decomposição da matéria orgânica disponível na vinhaça, e pela redução do estoque de carbono disponível no solo. As autoras estudaram as emissões CO₂ no solo na presença de vinhaça (tabela 4, p. 81), concluindo que em áreas de colheita mecanizada (sem queima) a emissão de CO₂ tem valor médio de 1.097,06 kgCO₂/ha em um período de 15 dias (360 horas).

Fazendo a conversão para kg/m²h, encontra-se 0,00030473888 kgCO₂/m²h. Recuperando valor a ser utilizado para a taxa temporal de percolação, igual a 25,4 mm/h, e a dimensão atribuída para o horizonte A do solo, igual a 22 cm, tem-se que o tempo de percolação pode ser estimada pela razão entre a espessura do horizonte A (220 mm) e a velocidade de percolação (25,4 mm/h), obtendo-se 8,661417 horas decimais ou 9 horas mais 7 minutos. Pode-se estimar a emissão de CO₂ da Fase III fazendo-se o produto entre o valor da emissão de CO₂ por m²/hora pela área afetada e pelo tempo de percolação. Assim, tem-se: 0,00030473888 kgCO₂/m²h x 700.349 m² x 8,6614 h, resultando em 1.848,54690806 kgCO₂.

A emissão total de CO₂ é o resultado da soma das emissões da Fase I, Fase II e Fase III: 826,007427774 kgCO₂ + 2.546,02424238 kgCO₂ + 1.848,54690806 kgCO₂, resultando em 5220,57857821 kgCO₂.

a) Finalização do cálculo da emissão de CO₂ por kg de vinhaça:

Para se obter o valor da emissão de CO₂ por kg de vinhaça, inicialmente se precisa obter o peso da vinhaça armazenada no reservatório. Tendo-se o volume armazenado igual a 40.046,82 m³, e sabendo que 1 m³ corresponde a 1000 litros, e sendo a densidade da vinhaça igual a 1,143 kg/litro, por meio do produto desses termos obtem-se o peso da vinhaça armazenada, calculada como 45.773.515,26 kg.

A emissão de CO₂ por kg de vinhaça pode ser obtida pela razão entre o volume total emitido em todas as fases do processo, igual a 5.220,57857821 kgCO₂, pelo volume armazenado (45.773.515,26 kg), resultando uma emissão igual a 0,00011405238 kgCO₂ por kg de vinhaça.

b) Detalhamento do evento transiente Vazamento 100%, considerando a emissão de CO₂

Na Figura 54, a seguir, tem-se a dinâmica do evento transiente Vazamento 100%, ou o rompimento abrupto da barragem com o vazamento de todo o conteúdo do reservatório, com foco na emissão de CO₂ pela vinhaça:

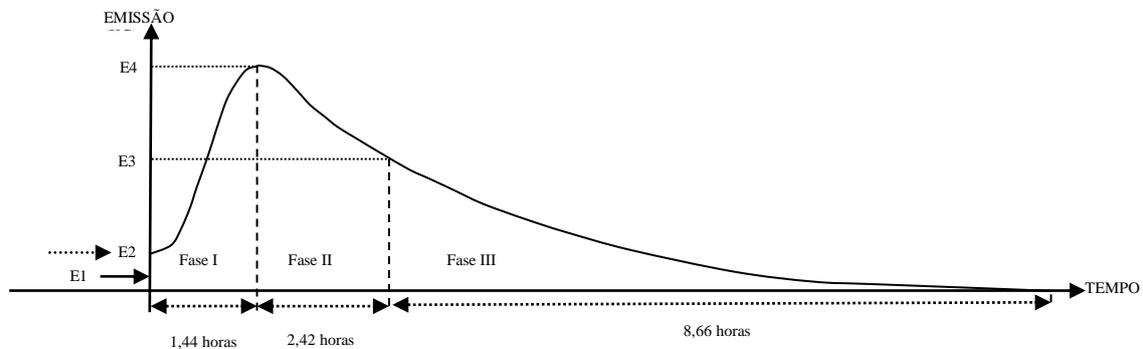


Figura 51: Dinâmica do evento transiente Vazamento 100%

São detalhadas as diferentes características da Figura 54. No eixo “x”, está representado em horas decimais a duração de cada Fase do acidente, cujo somatório nos fornece o tempo entre o início do evento transiente e sua finalização, em um total de 13 horas. No eixo “y” tem-se as emissões produzidas pelos diferentes eventos, considerando o início e fim de cada etapa:

- E1 – Neste ponto tem-se a emissão de CO₂ produzida por hora de operação em regime permanente da instalação, sendo que pode-se considerar aqui dois cenários distintos:
 - Considerando o fluxo de vinhaça que alimenta o reservatório de vinhaça:

Neste caso, é considerada a produção por hora de vinhaça da usina, em relação ao valor da emissão de CO₂, também por hora. Por esse cálculo é possível se obter a contribuição da produção de CO₂ por kg de vinhaça produzida, calculada conforme abaixo:

- a) Quantidade de vinhaça produzida: 573 (toneladas de cana processadas por hora) multiplicado por 882 (volume de vinhaça produzida por litro tonelada de cana produzida) multiplicado por 1,143 (densidade da vinhaça, em kg/L), resultando em 577.656,198 quilogramas de vinhaça produzidos por hora;
- b) Quantidade de CO₂ emitido por hora, considerando o fluxo: 10.011,705 m² (área superficial do reservatório) multiplicado por 0,0006569 kgCO₂/m²h (valor de emissão calculado por Paredes (2015, p.71), resultando em 6,5766890 kgCO₂/h;
- c) A partir desses resultados é possível se obter o valor da emissão de CO₂ para um quilograma de vinhaça, considerando o fluxo de vinhaça produzido por hora pela usina. Recuperando-se o valor de 6,5774899 kgCO₂/h, e dividindo-se pelo peso em quilogramas do fluxo, de 577.656,198 kg/h, obtem-se 0,0000113865 kg/CO₂ emitidos por kg de vinhaça presente no fluxo.

Duas ressalvas devem ser consideradas na estimativa de CO₂ emitido pelo reservatório de vinhaça:

O fluxo de CO₂ utilizado neste trabalho, igual a 0,00065698665 kgCO₂/m²h, foi calculado a partir de informações extraídas de Paredes (2015), mas esse valor refere-se a reservatórios de vinhaça com lâmina média de 1,1415 m. (vide Cálculo da emissão média de CO₂ em reservatório de vinhaça e de outros GEE). Considerando que o CO₂ é produzido pela matéria orgânica e outros produtos presentes na vinhaça, e que o reservatório em estudo apresenta profundidade de até 4m, conclui-se concluir que o volume de CO₂ produzido seria maior. Fazendo 4 m multiplicados por 0,0006569 kgCO₂/m²h e dividindo o resultado por 1,1415 m, obtem-se um novo valor de emissão, igual a 0,00230188 kgCO₂/m²h.

Ainda, tendo que a área de superfície do reservatório é igual a 10.011,705 m², pode-se então calcular novo valor de emissão para o fluxo de 577.656,198 kg/h de vinhaça, multiplicando 10.011,705 m² pelo valor de emissão, de 0,00230188 kgCO₂/m²h, obtendo 23,04574 kgCO₂/h. A partir desse valor obtem-se a taxa de contribuição de CO₂ por kg de vinhaça, dividindo 23,04574 kgCO₂/h por 577.656,198 kg/h. Com isso, obtem-se

0,000039895 kgCO₂ emitidos por kg de vinhaça; (valor a ser informado no software *Gabi Education* para a operação em regime permanente). Outro aspecto importante a considerar é a proporção do peso do fluxo de vinhaça, de 577.656,198 kg, em relação ao peso total do reservatório, de 45.773.515,26 kg, igual a apenas 1,26%.

Dado que o CO₂ é produzido pelo montante total de vinhaça, este fluxo não representa o volume do poluente que é emitido a partir da interface líquido/atmosfera. Multiplicado pelo peso do reservatório, de 45.773.515,26 kg, pelo valor de emissão por kg, de 0,000039895 kgCO₂, obtém-se 1.826,145 kg de CO₂ emitidos pelo reservatório (valor correspondendo ao ponto E2, ou seja, eventual momento de início de um evento transiente).

No Anexo 3 - Cálculo da emissão média de CO₂ em reservatório de vinhaça e de outros GEE, detalha-se a forma de obtenção da emissão por hora do CO₂, a partir dos dados fornecidos por (PAREDES, 2015) e outros autores.

Iniciando-se o estudo do evento transiente, tem-se:

- E2 – Emissão de CO₂ produzida no momento “zero”, ou seja, no início do processo de vazamento que redundava no evento transiente Vazamento 100%, a uma taxa de 23,04574 kgCO₂/h (emissão potencial quando em operação em regime permanente) e que cresce rapidamente até atingir E4. O valor em questão é obtido multiplicando 10.011,705 m² pelo valor de emissão, de 0,00230188 kgCO₂/m²h;
- E4 – Emissão máxima de CO₂ observada no momento em que é atingida a maior área coberta pela vinhaça observada na Fase I (Área I do gráfico), em um volume de 1.131,0636 kgCO₂/h, valor que decai rapidamente até atingir E3. O valor destacado é obtido pelo produto entre a área máxima afetada (700.349 m²) pelo valor da emissão (0,001615 kgCO₂/m²h);
- E3 – Final da Fase II (Área II do gráfico), em que a emissão máxima de CO₂ decai de 1.131,0636 kgCO₂/h para 213,423569 kgCO₂/h atingindo valor zero após 8,66 horas decimais, indicando o final do impacto direto do evento transiente, para esta categoria de impacto ambiental. O valor 213,423569 kgCO₂, início da Fase III, é obtido pelo produto entre o valor da emissão calculada como 0,00030473888 kgCO₂/m²h pela área inundada, igual a 700.349 m².

O volume de CO₂ de cada uma das figuras Fase pode ser obtido pelo cálculo da área entre a curva representativa da emissão e a delimitação entre as diferentes figuras, contidas entre os eixos Emissão e Tempo. Por facilidade de cálculo, cada uma das figuras Área foi transformada em uma ou mais estruturas geométricas e as áreas calculadas, o que forneceu um valor aproximado para a área de interesse. Realizando os cálculos, tem-se:

- Fase I - $(1,44 \text{ horas} \times 23,04574 \text{ kgCO}_2/\text{h}) + (1,44 \text{ horas} \times (1.131,0636 \text{ kgCO}_2/\text{h} - 23,04574 \text{ kgCO}_2/\text{h})/2)$, resultando em 830,9587192 kgCO₂/h;
- Fase II - $(2,44 \text{ horas} \times 213,423569 \text{ kgCO}_2/\text{h}) + (2,42 \text{ horas} \times (1.131,0636 \times 213,423569)/2)$, resultando em 1.626,82947449 kgCO₂/h;
- Fase III - $(8,66 \text{ horas} \times 213,423569 \text{ kgCO}_2/\text{hora})/2$, resultando em 924,124057 kgCO₂/h.

A soma dos valores encontrados nos fornece a quantidade CO₂ emitida ao longo das 13 horas de duração do evento transiente Vazamento 100%, ou seja, 3.381,91224746 kgCO₂. Considerando o procedimento observado por ACV, o valor encontrado constitui-se no resultado do ICV, que multiplicado pelo fator de caracterização produz o impacto final em kgCO₂eq.

Se considerado outros componentes do ICV, como o CH₄ e o N₂O, e aplicando o conceito discutido, tem-se que o valor final para o evento transiente calculado pelo aplicativo *GaBi* de pouco mais de 71 mil kgCO₂eq, constitui-se na área representada pela curva de explica a dinâmica do evento transiente.

Outras considerações com relação ao cálculo da emissão de CO₂ são feitas para a definição do volume emitido pelo reservatório em situação de operação em regime permanente. Utilizando dados fornecidos por Paredes (PAREDES, 2015), são detalhados abaixo método utilizado para a definição da lâmina de vinhaça e a emissão de CO₂ associada.

i. Definição da lâmina de vinhaça:

Paredes (2015, p. 41 e 42) detalha estudo realizado sobre 4 lagoas utilizadas para armazenamento de vinhaça, informado que foram realizadas 6 medições em momentos distintos para a determinação da espessura da lâmina, conforme Figura 55, abaixo:

Lagoa	Medidas (em metros)						Somatório	Média
1	1	1	1,5	1,5	1,5	1	7,5	1,25
2	1	1	1,5	1,5	1	1	7	1,166
3	1,5	1	2	1,5	1		7	1,4
4	0,8	0,7					1,5	0,75
Média das médias								1,1415

Figura 52: Cálculo de lâmina média de vinhaça

Fonte: Paredes (2015) (Adaptado)

Tem-se, portanto, uma lâmina média de 1,1415 m. O estudo conduzido por Paredes (PAREDES, 2015) esta fornece valores de emissão por m² de área de superfície das lagoas, assim, assume-se que um volume médio de vinhaça igual a 1,1415 m³ (volume de altura 1,1415m, largura 1m e comprimento 1m) é responsável por essa emissão.

ii. Cálculo da emissão de CO₂:

Paredes (2015, p. 71) nos traz a emissão média de CO₂ por m² de superfície das Lagoas estudadas, em miligrama (mg)/m²dia, conforme Figura 56, abaixo:

Lagoa	Emissão de CO ₂ medida
1	17.824,586
2	24.903,438
3	892,526
4	262,120
5	34.955,728
Somatório	78.838,398
Média	15.767,6796

Figura 53: Emissão média de CO₂ por lagoa de vinhaça

Fonte: Paredes (2015) (Adaptado)

O valor médio calculado, de 15.767,67968 mg/m²dia, ao ser dividido por 24 horas, nos informa o valor da emissão por hora, ou seja: 656,98665 mg/m²h.

Convertendo de miligrama para quilograma, obtem-se 0,000656986656 kgCO₂/m²h. Discute-se agora valores de emissões para os gases CH₄ e N₂O, inicialmente para a operação em regime permanente:

- CH₄:

Tem-se que o CH₄ é emitido por lagoas revestidas em uma proporção de 0,1 kgCH₄/m³. Sabendo que 1 m³ de vinhaça pesa 1.143 kg, então pode-se concluir que

0,00000874890 kgCH₄ são emitidos por kg de vinhaça depositados. (OLIVEIRA, *et al*, 2017, p. 143),

- N₂O:

De Paredes (2015, p. 95), tem-se que o N₂O é emitido por lagoas e canais em uma proporção de 0,04 gN₂O m⁻³. Convertendo para kg, tem-se uma emissão de 0,00004 kgN₂O por m³. Considerando que 1 m³ pesa 1.143 kg, tem-se que 0,0000000349956 kgN₂O são emitidos por kg de vinhaça.

Para as emissões relativas aos eventos transientes, tem-se:

- CH₄:

De Paredes (2015, p. 95), tem-se que o CH₄ é emitido por lagoas e canais não revestidos em uma proporção de 65,5 gCH₄.m⁻³. Convertendo para kg, tem-se 0,0655 kgCH₄ por m³. Sabendo que 1 m³ de vinhaça pesa 1.143 kg, então conclui-se concluir que 0,00005730533 kgCH₄ são emitidos por kg de vinhaça depositados.

- N₂O:

De Paredes (2015, p. 95), tem-se que o N₂O é emitido por lagoas e canais em uma proporção de 0,04 gN₂O m⁻³. Convertendo para kg, tem-se uma emissão de 0,00004 kgN₂O por m³. Considerando que 1 m³ pesa 1.143 kg, tem-se que 0,0000000349956 kgN₂O são emitidos por kg de vinhaça.

Anexo 3 – Parte B – Discussão sobre barragens de terra e apresentação das equações fundamentais para o cálculo do rompimento e formação de onda de inundação

Barragens de terra são normalmente construídas com materiais como terra, rochas, eventuais resíduos orgânicos coletados quando do recolhimento do material, e outros componentes. São estruturas sujeitas a infiltrações, falhas em dutos e tubulações, deformações, instabilidades da base, sofrendo a ação de eventos climáticos e das mudanças

climáticas, entre outros fatores de desgaste. Essas barragens podem conter em seus núcleos uma estrutura mais densa, destinada ao controle das infiltrações e para garantir maior estabilidade aos taludes (PIERMATEI, 2006; PREZIOSI *et al.*, 2012).

A Figura 4 mostra um corte transversal de uma estrutura tradicional:

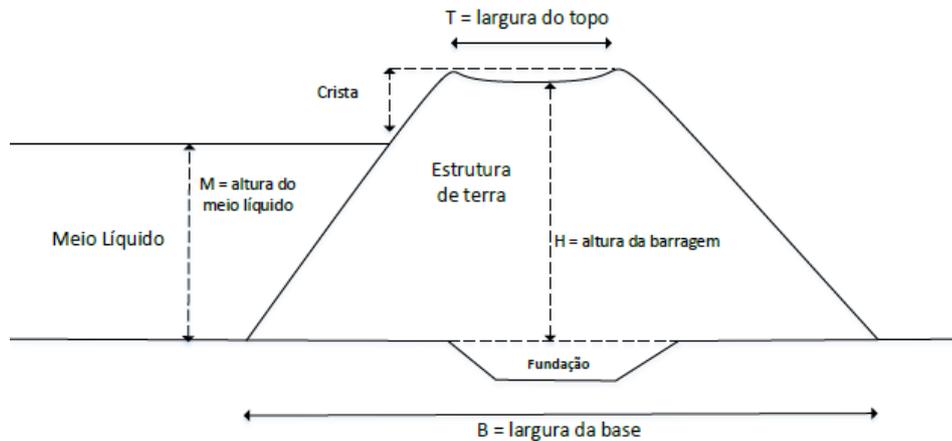


Figura 54: Corte transversal em barragem de terra, mostrando seus principais elementos.

US Department of the Interior (1998) (Adaptado)

Os espaços remanescentes entre as partículas das barragens podem conter água e outros elementos em estado gasoso (como ar e vapor de água). Existindo uma eventual conexão entre esses diferentes interstícios, pode ocorrer a formação de canais por onde líquidos podem fluir, de regiões de maior pressão para regiões de menor pressão, gerando uma infiltração e provocando um vazamento, com a retirada de materiais finos do interior do talude, o que pode levar ao abatimento da estrutura (FAO, 2011; PIERMATEI, 2006).

A manutenção dos maciços de terra é voltada principalmente para o controle da percolação e da erosão, prevenindo-se a sua deterioração e o desenvolvimento de caminhos preferenciais para as infiltrações. É recomendável a realização de atividades periódicas para a verificação da solidez da estrutura e da sua estabilidade, o controle da vegetação, remoção de

entulhos e a prevenção do surgimento de tocas de animais da face exposta da barragem, entre outras atividades (BANDO *et al.*, 2015).

Esses eventos podem levar ao rompimento da barragem, evento definido como o escoamento espontâneo do líquido armazenado, ocorrendo geralmente como resultado de uma operação imprópria, da ruptura ou colapso da estrutura do maciço, com inundação rápida à jusante, provocando danos para a vida, o meio ambiente e a economia (FROEHLICH, DAVID, 2008, 2016).

(SPANCOLD *et al.*, 2012) destacam que os riscos associados ao rompimento de barragens dificilmente podem ser negligenciados ou ignorados, dado o alto poder destrutivo desses eventos. Assim, são recuperadas da literatura algumas equações fundamentais que permitem entender a dinâmica desses eventos e suas características, contribuindo para o dimensionamento de seus impactos. Para se entender a dinâmica de um evento de rompimento abrupto de uma barragem, três informações são importantes: o tempo de formação da brecha, o cálculo de sua largura média e a vazão de pico do efluente. O formato de uma brecha em barragens de terra em caso de rompimento abrupto é típico, sendo mostrado na Figura 5:

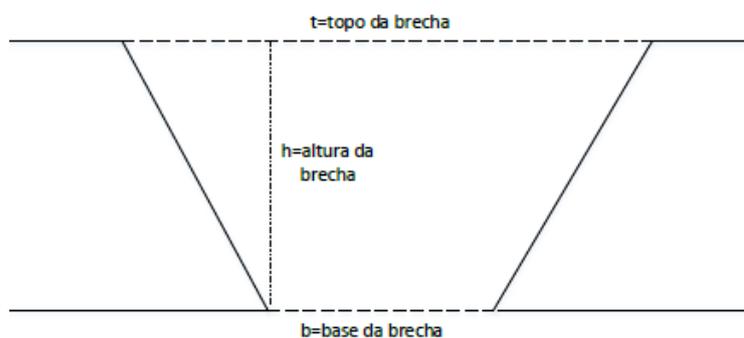


Figura 55: Formato típico de brecha em barragem de terra, causado por rompimento abrupto do maciço. Froehlich e David (2016) (Adaptado).

De interesse para este estudo, aprofundamos o entendimento sobre barragens, estruturas artificiais utilizadas para promover o controle do fluxo de fluidos, inclusive de

rejeitos, e para permitir o seu armazenamento. Para pequenos represamentos, normalmente são utilizadas barragens de terra, construídas em formato adequado para suportar as pressões exercidas pelo líquido (BANDO et al., 2015; FROEHLICH, DAVID C., 1995).

Os prejuízos provocados por um eventual rompimento de barragem de terra com a formação de onda de inundação estão associados as características desse fenômeno. Na Tabela 1 mostramos as equações fundamentais para o entendimento da dinâmica do rompimento de barragens e da consequente inundação.

Tabela 1: Equações fundamentais sobre o rompimento de barragens

Finalidade	Equação	Parametros envolvidos
Tempo de formação da brecha (em horas)	$t_f = \sigma * \frac{V^{0,53}}{h^{0,90}}$	(V), volume total armazenado em m ³ ; (h) é a altura da estrutura (corpo principal e crista), em m.; (σ), constante adimensional que assume o valor de 0,00254 para as barragens de terra.
Largura média da brecha	$B = 0,1803 * k_0 * V^{0,32} * h^{0,19}$	(B), largura média da brecha, em m.; (k ₀), coeficiente adimensional que assume o valor de 1,4 para casos em que o volume armazenado ultrapassa a crista da barragem (<i>overtopping</i>), assumindo valor 1 em outros casos; * Os demais parâmetros acompanham as equações anteriores.
Referência: (AHMADISHARAF <i>et al.</i> , 2016)		
Vazão de pico	$Q_p = 0,607 * V^{0,295} * h^{1,24}$	(Q _p), vazão de pico pela brecha da barragem, em m ³ /s; * Os demais parâmetros acompanham as equações anteriores.
Referência: (FROEHLICH, DAVID, 2016)		

Fonte: Elaboração própria.