

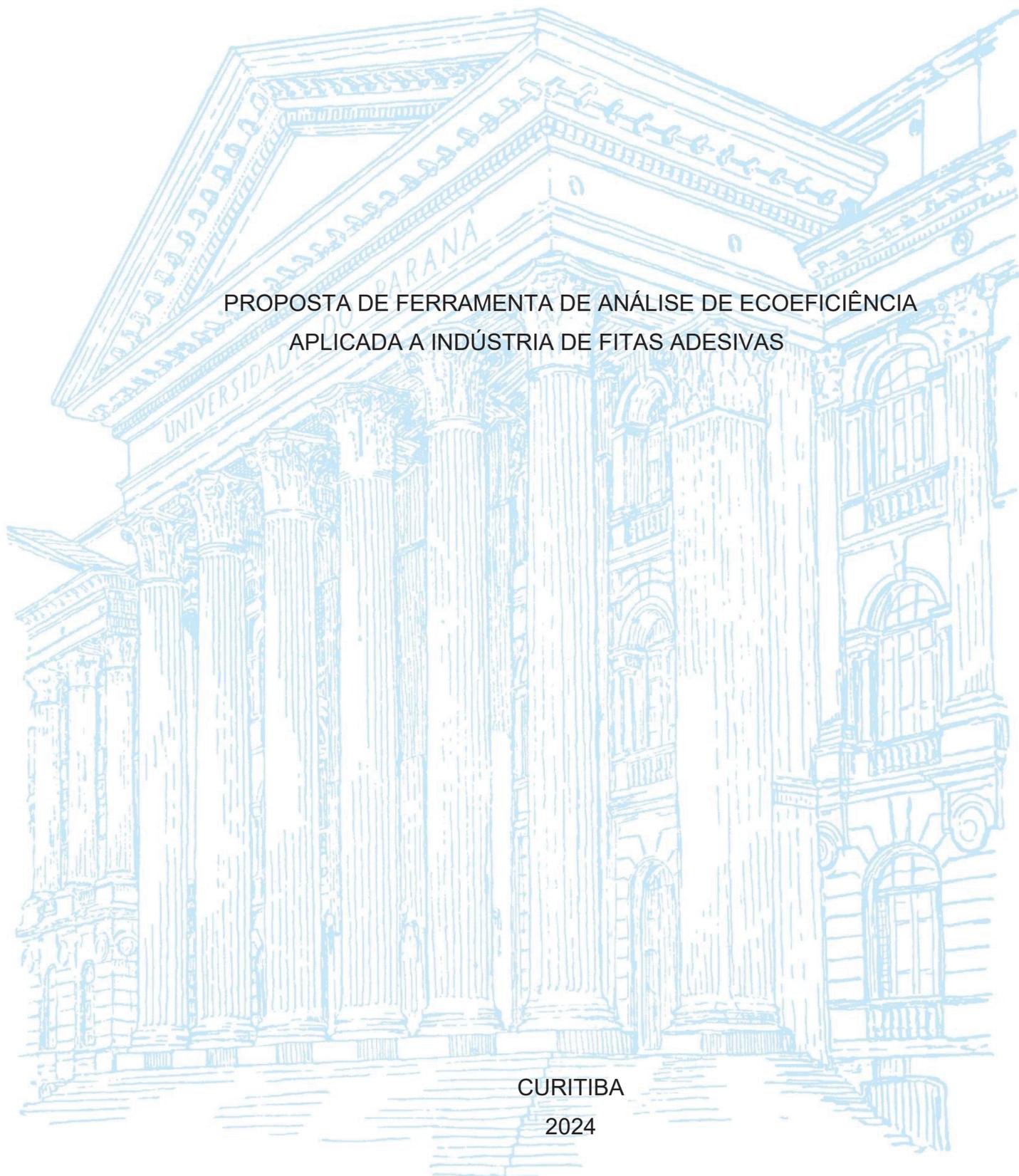
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAMON DELANO DE ASSUNÇÃO

PROPOSTA DE FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA
APLICADA A INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS

CURITIBA

2024



RAMON DELANO DE ASSUNÇÃO

PROPOSTA DE FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA APLICADA A
INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno.

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Assunção, Ramon Delano de
Proposta de ferramenta de análise de ecoeficiência aplicada a indústria de fitas adesivas / Ramon Delano de Assunção. – Curitiba, 2024.
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Marcell Mariano Corrêa Maceno

1. Cadeia de Suprimentos. 2. Sustentabilidade. 3. Economia Circular. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Maceno, Marcell Mariano Corrêa. IV . Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RAMON DELANO DE ASSUNÇÃO** intitulada: **PROPOSTA DE FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA APLICADA A INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS**, sob orientação do Prof. Dr. MARCELL MARIANO CORREA MACENO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Maio de 2024.

Assinatura Eletrônica

28/05/2024 16:15:31.0

MARCELL MARIANO CORREA MACENO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

29/05/2024 16:19:55.0

FABIO NEVES PUGLIERI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - PONTA GROSSA)

Assinatura Eletrônica

28/05/2024 16:55:36.0

SILVANA PEREIRA DETRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho as minhas avós Arlinda e Alzira (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por Sua bondade e amor, por todas as oportunidades concedidas a mim, pela força e perseverança nos momentos de fraqueza e na superação das dificuldades.

A minha esposa, familiares e amigos pelo carinho e atenção que me deram, pelo incentivo e paciência, me fazendo por vezes acreditar que posso mais do que imagino.

Ao Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno, meu orientador, pelo apoio, compreensão, instruções, correções e disponibilidade. Pelo profissionalismo e sinceridade com os quais contribuiu para aprofundar e trazer clareza a esta pesquisa.

Aos colegas de classe, com os quais junto estudei, me esforcei, sofri e venci. A amizade, as trocas de informação, dicas, auxílio e incentivos mútuos muito contribuíram para a pesquisa bem como para o êxito nas diversas disciplinas cursadas ao longo destes dois anos.

Ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, seus docentes e funcionários, que contribuíram para me tornar um profissional mais capacitado.

À empresa tesa Brasil Ltda., em especial nas pessoas do Sr. Carlos Cruzato e da Sra. Denise Oliveira, pelo incentivo e disponibilização de tempo que possibilitaram a realização deste projeto de pesquisa. Aos demais colegas de trabalho que contribuíram direta ou indiretamente com auxílio na coleta de dados, metodologias para análise e modelagem bem como com seus incentivos.

O SENHOR dá a sabedoria, e da sua boca vem a inteligência e o entendimento... Porque melhor é a sabedoria do que joias, e de tudo o que se deseja nada se pode comparar com ela... Quem obtém sabedoria ama-se a si mesmo, quem acalenta o entendimento prospera.

(Provérbios 2:6; 8:11; 19:8)

RESUMO

Nesta pesquisa foi construída uma ferramenta de análise de ecoeficiência aplicada à indústria de fitas adesivas como auxílio à tomada de decisão em processos de compras e manufatura, resultando na escolha da melhor fonte de insumos a ser adotada como opção de compra e qual o melhor processo fabril a ser empregado na conversão das fitas adesivas estudadas. Análises de ecoeficiência na produção de fitas adesivas ainda são pouco exploradas na indústria e na literatura, de forma que esta pesquisa foca nesta lacuna dentro da indústria química. A ferramenta construída foi aplicada num estudo de caso para fitas adesivas fornecidas a indústria automotiva para uso em chicotes elétricos. Foram estudados dois tipos de produtos, A e B, com possíveis fontes de insumos idênticos vindas de plantas nos EUA ou na Alemanha. No âmbito de desempenho econômico, analisaram-se de custos de insumos, logística e manufatura bem como resultados financeiros desde faturamento até lucratividade da operação. No âmbito de desempenho ambiental, foram analisados temas associados a consumo energético, emissões de CO₂ equivalente, reciclagem de resíduos e cálculo de circularidade. Integrando os resultados de desempenho econômico e ambiental chegou-se um *single-score* a fim de mensurar quantitativamente a ecoeficiência. Mediante análises de sensibilidade, pôde-se verificar o quanto os custos dos produtos A e B estudados são sensíveis a variações de volume de produção e o quanto o índice de ecoeficiência muda em função de diferentes pesos atribuídos a variáveis econômicas e ambientais. Tanto para o produto A quanto para o produto B, a melhor tomada de decisão, para todos os casos avaliados, compreende a compra de insumos fabricados pela planta da Alemanha e manufatura local em Manaus no processo de conversão em etapa única. Neste cenário têm-se os menores custos, maior lucro líquido e melhor desempenho ambiental devido a menor uso de energia elétrica, menos emissões totais de CO₂ equivalente e regime operacional com maior grau de circularidade. A ferramenta e modelagem construídas foram aplicadas num estudo de caso com fitas adesivas para chicotes elétricos automotivos, mas podem ser extrapoladas para aplicações em outros tipos de fitas adesivas e em diferentes cenários logísticos, visto que os critérios adotados admitem modelagens extensivas a outros materiais e localidades dentro da indústria de fitas adesivas.

Palavras-chave: Fitas Adesivas; Desempenho Econômico; Desempenho Ambiental; Sustentabilidade; Cadeia de Suprimentos; Economia Circular.

ABSTRACT

In this research, an ecoefficiency analytical tool applied to the adhesive tape industry was built as a support for decision-making in purchasing and manufacturing processes, pointing the best choices in sources of raw materials and converting processes to be used in the studied adhesive tapes. Ecoefficiency analyzes in the production of adhesive tapes are still little explored in the industry and in the literature, so this research focuses on this gap within the chemical industry. This tool was then applied in a case study for adhesive tapes supplied to the automotive industry for use in electrical wire harnesses. Two types of products were studied, A and B, with possible sources of identical raw materials coming from plants in the USA or Germany. In the scope of economic performance, raw materials, logistics and manufacturing costs were analyzed as well as financial results from revenue to operational profitability. Within the scope of environmental performance, topics associated with energy consumption, CO₂ equivalent emissions, waste recycling and circularity calculation were analyzed. Integrating the results of economic and environmental performance, a single-score was calculated in order to quantitatively measure ecoefficiency. Through sensitivity analyses, it was possible to verify how sensitive the costs of products A and B studied are to variations in output and how much the ecoefficiency index changes depending on different weights attributed to economic and environmental variables. For both product A and product B, the best decision-making, for all cases evaluated, involves the purchase of raw materials manufactured by the plant in Germany and local manufacturing in Manaus in a single-step converting process. In this scenario, there are lower costs, higher net profit and better environmental performance due to lower usage of power, lesser total CO₂ equivalent emissions and an operational regime with a higher degree of circularity. The tool and modeling constructed were validated in a case study with adhesive tapes for automotive electrical wire harnesses, but they can be extended to applications in other types of adhesive tapes and in different logistical scenarios, as the criteria adopted allow extensive modeling to other materials and locations within the adhesive tape industry.

Keywords: Adhesive Tapes; Economic Performance; Environmental Performance; Sustainability; Supply Chain; Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE FITAS ADESIVAS EM CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS	25
FIGURA 2 – LINHA DE MONTAGEM DE CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS	25
FIGURA 3 – CENÁRIOS E VARIÁVEIS MACRO DO ESTUDO DE CASO	30
FIGURA 4 – CONSTRUÇÃO GENÉRICA DE FITAS ADESIVAS.....	32
FIGURA 5 – COMPARTIVO DAS ESTRUTURAS MACROMOLECULARES DE ADESIVOS DE DIFERENTES ELASTÔMEROS	34
FIGURA 6 – ESQUEMA BÁSICO DE PRODUÇÃO DE ADESIVOS BASE SOLVENTE E BASE AQUOSA.....	35
FIGURA 7 – ILUSTRAÇÃO DO CONCEITO DE COATING E LAMINAÇÃO	35
FIGURA 8 – DISPOSITIVO DE TRATAMENTO CORONA EM FILMES	36
FIGURA 9 – EXEMPLO DE UNIDADE DE COATING BASE SOLVENTE COM APLICAÇÃO DE ADESIVO E RELEASE COAT	37
FIGURA 10 – JUMBOS, LOGS E ROLOS	39
FIGURA 11 – LOG WINDER GUZZETTI LG500.....	39
FIGURA 12 – LOG SLICER SCAIN MFS80.....	40
FIGURA 13 – SLITTER-REWINDER GHEZZI & ANNONI FA300.....	40
FIGURA 14 – LINHA DE CONVERSÃO E EMBALAGEM INTEIRAMENTE AUTOMÁTICA GHEZZI & ANNONI	41
FIGURA 15 – EXEMPLO DE CHICOTE ELÉTRICO COM FITAS ADESIVAS NA REGIÃO DO HABITÁCULO DO VEÍCULO	43
FIGURA 16 – CICLOS TÉCNICO E BIOLÓGICO	50
FIGURA 17 – ETAPAS DO TRABALHO	55
FIGURA 18 – PASSO-A-PASSO PARA REVISÃO DA LITERATURA.....	58
FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DA OPERAÇÃO.....	65
FIGURA 20 – FLUXOS DE MATERIAIS	74
FIGURA 21 – FLUXOGRAMA LÓGICO DA FERRAMENTA	82
FIGURA 22 – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO PRODUTO A NOS DIFERENTES CENÁRIOS	104
FIGURA 23 – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO PRODUTO B NOS DIFERENTES CENÁRIOS	105

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DOS PRODUTOS NOS DIFERENTES CENÁRIOS	103
GRÁFICO 2 – RELAÇÕES ENTRE CUSTO E LUCRATIVIDADE NO DIFERENTES CENÁRIOS	108
GRÁFICO 3 – PERFIL DE CONSUMO ENERGÉTICO DAS PLANTAS DOS EUA E DA ALEMANHA	109
GRÁFICO 4 – PERFIL DE EMISSÕES DE CO ₂ EQUIVALENTE COMPARANDO-SE OS CENÁRIOS COM COMPRA DAS DIFERENTES PLANTAS	110
GRÁFICO 5 – PERFIL DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DAS DIFERENTES PLANTAS.....	111
GRÁFICO 6 – RESULTADOS DE SINGLE-SCORE PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS.....	117
GRÁFICO 7 – COMPARATIVO DE COMPONENTES NORMALIZADOS PARA SINGLE-SCORE NOS DIFERENTES CENÁRIOS	121
GRÁFICO 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA $CP_{i,j,z}$	123
GRÁFICO 9 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA $P_{i,j,z}$	123
GRÁFICO 10 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SINGLE-SCORE	127

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – PADRÕES DA NORMA LV-312 PARA AS FITAS ADESIVAS PARA CEAS	42
QUADRO 2 – ESTRATÉGIAS E AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DOS PRINCIPAIS FORNECEDORES DE FITAS ADESIVAS AO MERCADO AUTOMOTIVO.....	47
QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA.....	54
QUADRO 4 – PRODUTOS DO ESTUDO DE CASO	59
QUADRO 5 – MAPA DE VARIÁVEIS FINANCEIRAS.....	59
QUADRO 6 – VARIÁVEIS DE CORRELAÇÃO DIRETA E INVERSA.....	77
QUADRO 7 – CENÁRIOS PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SINGLE- SCORE	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RESULTADOS DA RBL E DA RSL	88
TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE CUSTOS E PREÇO	93
TABELA 3 – DRE PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS	107
TABELA 4 – DADOS PARA ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL POR UNIDADE PRODUZIDA.....	112
TABELA 5 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE	115
TABELA 6 – ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS	118
TABELA 7 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA CUSTOS EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE PRODUÇÃO	124
TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE.....	128

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AFERA	<i>European Adhesive Tape Association</i>
AM	Estado do Amazonas
B2B	<i>Business to Business</i>
BOPP	Polipropileno biorientado
BR	Borracha butílica
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CBD	<i>Cost Breakdown</i>
CEA	Chicote Elétrico Automotivo
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight</i>
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
Covid-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
CPV	Custo do Produto Vendido
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
DGF	Despesas Gerais de Fabricação
DOP	Despesas Operacionais
DRE	Demonstração de Resultados do Exercício
EC	Economia Circular
EUA	Estados Unidos da América
EVA	Etileno Acetato de Vinila
EXW	<i>Ex-Works</i>
FOB	<i>Free On Board</i>
GHG	<i>Green House Gases</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IFRS	<i>International Financial Reporting Standards</i>
IPI	Imposto Sobre Produtos Industrializados
IRPJ	Imposto de Renda Pessoa Jurídica
JIT	<i>Just in Time</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LL	Lucro Líquido
LO	Lucro Operacional
LS	<i>Log Slicing</i>
LW	<i>Log Winding</i>

MDO	Mão-de-obra
MOPP	Polipropileno mono-orientado
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PET	Politereftalato de etileno
PIB	Poliisobuteno
PIS	Programa de Integração Social
POD	Polioxadiazol
PP	Polipropileno
PPB	Processo Produtivo Básico
PSA	<i>Pressure-sensitive adhesive</i>
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
RBL	Revisão Bibliométrica da Literatura
RNO	Receitas Não Operacionais
ROB	Receita Operacional Bruta
ROL	Receita Operacional Líquida
ROS	<i>Return on Sales</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SC	Estado de Santa Catarina
SR	<i>Slit-rewind</i>
SS	<i>Single-score</i>
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
ZFM	Zona Franca de Manaus

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
%RR _j	Percentual de reciclagem de resíduos %RR por m ² de produto produzido na planta j
Σ	Somatório de números
®	Marca registrada
µm	Micrômetro (10 ⁻⁶ m)
AE _i	Custo de armazenagem do produto i no Entrepósito Fiscal em Itajaí/SC
Al _i	Custo de armazenagem do produto i no centro de conversão de Manaus/AM
B _c	Conteúdo de carbono no material biológico
C _c	Fração mássica do produto com material biológico do produto acabado que será coletada para destinação a compostagem após seu uso
C-Cofins-I	Crédito do Financiamento da Seguridade Social na Importação
C _E	Fração mássica do produto com material biológico do produto acabado que será coletada para recuperação energética após seu uso
C _i	Custo de cabotagem do produto i de Manaus/AM até Itajaí/SC
C-ICMS-I	Crédito do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Importação
C-ICMS-V	Crédito Estímulo do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Venda
C-IPI-I	Crédito do Imposto sobre Produtos Industrializados do Produto na Importação
CO ₂	Dióxido de carbono
Cofins-I	Financiamento da Seguridade Social na Importação
Cofins-V	Financiamento da Seguridade Social na Venda
C-PIS-I	Crédito do Programa de Integração Social na Importação
CPV _{i,j,z}	Custo do produto vendido i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
C _R	Fração mássica do produto acabado que será coletada para reciclagem após seu uso
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido

Cu	Fração mássica do produto acabado que será coletada para reuso após seu uso
dB	Decibel
DGF _{i,z}	Despesas Gerais de Fabricação do produto i convertido no processo z
DOP	Despesas Operacionais
E _c	Eficiência do processo de reciclagem do produto ao fim de sua vida útil
E _F	Eficiência do processo de reciclagem usado para geração matérias-primas
E _R	Energia recuperada no processo de recuperação de energia
F _R	Fração mássica de alimentação contendo material reciclado
F _S	Fração mássica de alimentação contendo material reciclado
F _U	Fração mássica de alimentação contendo material biológico originado de fontes renováveis
h	Hora
HHV	Poder calorífico superior
i	Índice que denota o produto A ou B
ICMS-C	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Cabotagem
ICMS-I	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Importação
ICMS-V	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Venda
ID _{i,j,z}	Seguro de carga interno na cabotagem do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
l _{i,j,z}	Custos relativos a impostos do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
II _{Ci,j,z}	Imposto de Importação do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z na cabotagem/saída de Manaus
II _e _i	Imposto de Importação do Produto i na importação/entrada
IPI-I	Imposto sobre Produtos Industrializados do Produto na Importação
IPI-V	Imposto sobre Produtos Industrializados do Produto na Venda
IRPJ	Imposto sobre a Renda Pessoa Jurídica
j	Índice que denota planta da Alemanha ou EUA
J _{i,j}	Custo Ex-Works do Jumbo do produto i produzido na planta j
kg	Quilograma (10 ³ g)
L	Vida útil do produto

LAJIR _{i,j,z}	Lucro Antes dos Juros e Imposto de Renda do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
L _{av}	Vida útil média de produtos similares na indústria
LF _{i,j,z}	Índice de Fluxo Linear do produto i, produzido na planta j e convertido em Manaus no processo de conversão z
M	Massa total do produto
m	Metro
m ²	Metro quadrado (10 ² m)
m ³	Metro cúbico (10 ³ m)
M _B	Massa de material biológico utilizável
MB _{i,j,z}	Margem Bruta do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
MCI _{i,j,z}	Índice de circularidade para cada produto i, produzido na planta j e convertido no processo de conversão z.
ML _{i,j,z}	Margem Líquida do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
mm	Milímetro (10 ⁻³ m)
MOD _{i,z}	Custo de mão-de-obra do produto i convertido no processo z
N	Newton
N _α	Resultado normalizado da categoria
°C	Grau Célsius
P _{i,z}	Custo fabril do produto i no processo de conversão z
PIS-I	Programa de Integração Social na Importação
PIS-V	Programa de Integração Social na Venda
PKG _i	Custo unitário da embalagem do produto i
Plt. _j -Ctnr.	Quantidade de pallets da planta j por container 40ft.
PU _{i,j}	Custo de pick-up, pre-carriage do produto i produzido na planta j
PVB _{i,j,z}	Preço de Venda Bruto do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
PVL _{i,j,z}	Preço de Venda Líquido do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
P _α	Resultado ponderado da categoria
Q-Ctnr. _{i,j}	Quantidade de produto por container do produto i produzido na planta j
Q-Plt. _{i,j}	Quantidade de produto por pallet do produto i produzido na planta j

$RB_{i,j,z}$	Receita Bruta das vendas do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
$RL_{i,j,z}$	Receita Líquida das vendas do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
$ROS_{i,j,z}$	Retorno Sobre Vendas do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
$SCPi,z$	Custo de desperdício do produto i convertido no processo z
$SiscS_{i,j}$	Taxas Siscomex + Suframa no porto de chegada do produto i produzido na planta j
$TBT_{i,z}$	Custo do tubete do produto i convertido no processo z
$THCD_{i,j}$	Terminal Handling Charge no destino; Taxa de movimentação no terminal de destino do produto i produzido na planta j
$THCO_{i,j}$	Terminal Handling Charge na origem; Taxa de movimentação no terminal de origem do produto i produzido na planta j
$T_{inbound_i,j}$	Custo do transporte inbound; importação do jumbo do produto i produzido na planta j até Manaus/AM
$TPITJ_{i,j,z}$	Taxa portuária de Itajaí/SC na chegada da cabotagem para o produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
$TPMAO_{i,j,z}$	Taxa portuária de Manaus/AM na saída da cabotagem para o produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
U	Número de unidades funcionais alcançadas durante o uso do produto
U_{av}	Número de unidades funcionais alcançadas, em média, durante o uso de um produto de tipo similar na indústria
V	Massa de material virgem usado como matéria-prima
$VF_{i,j}$	Valor Final da importação do produto i produzido na planta j
W	Massa total de resíduos não recuperáveis
W_0	Massa de material a ser descartado em aterros e/ou enviado a geração de energia
W_C	Massa de resíduo gerado no processo de reciclagem
W_F	Massa gerada no processo de reciclagem para geração de matéria-prima
W_α	Resultado ponderado da categoria

- X Fator de Utilidade
- z Índice que denota processo de LW+LS ou então SR

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA	26
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos.....	27
1.3 JUSTIFICATIVA	27
1.4 PROPOSTA E DELIMITAÇÃO	29
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	30
2 REVISÃO DE LITERATURA	32
2.1 COMPONENTES E PRODUÇÃO DE FITAS ADESIVAS	32
2.1.1 Adesivos.....	32
2.1.2 Dorso.....	35
2.1.3 Primer e Release.....	36
2.1.4 Conversão de fitas adesivas	38
2.2 FITAS ADESIVAS APLICADAS EM CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS	41
2.3 CUSTO DO PRODUTO E MÉTODOS DE CUSTEIO	43
2.3.1 Custos e Despesas	43
2.3.1.1 Custo Padrão.....	44
2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS	45
2.5 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	47
2.6 ECOEFICIÊNCIA	50
3 MATERIAL E MÉTODOS	53
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	53
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	54
3.3 PROTOCOLO DE RSL.....	55
3.3.1 Palavras-chave e operadores booleanos das <i>strings</i> de pesquisa.....	55
3.3.2 Período de avaliação.....	56
3.3.3 Bases de dados.....	56
3.3.4 Etapas da RSL	57
3.3.5 Passo-a-passo	57
3.4 PRODUTOS DO ESTUDO DE CASO.....	58
3.5 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS DA FERRAMENTA	59

3.6	MODELAGEM DOS DADOS FINANCEIROS DO ESTUDO DE CASO	62
3.6.1	Demonstração do Resultado do Exercício	70
3.7	ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS	71
3.7.1	Índice de Circularidade.....	73
3.8	PONDERAÇÃO E SINGLE-SCORE	76
3.9	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	79
3.10	LÓGICA DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA	81
4	ESTADO DA ARTE BASEADO NA RSL	83
4.1	FITAS ADESIVAS E CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS.....	83
4.2	FITAS ADESIVAS, SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E ECONOMIA CIRCULAR	84
4.3	CONSIDERAÇÕES ACERCA DA RSL	87
5	FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA.....	93
5.1	DESEMPENHO ECONÔMICO	93
5.1.1	Inbound	96
5.1.2	Processo de Conversão	99
5.1.3	Armazenagem, Cabotagem e Outbound.....	101
5.1.4	Custo final e preço de venda.....	102
5.1.5	Demonstração de Resultado do Exercício	106
5.2	ANÁLISE DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	108
5.2.1	Dados de desempenho ambiental.....	108
5.2.2	Índice de Circularidade.....	113
5.3	SINGLE-SCORE: AVALIAÇÃO GLOBAL DE ECOEFICIÊNCIA.....	116
6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	122
6.1	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA DESEMPENHO ECONÔMICO.....	122
6.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO SINGLE-SCORE.....	126
7	CONCLUSÃO	144
7.1	POSSIBILIDADES PARA TRABALHOS FUTUROS	145
	REFERÊNCIAS.....	146

1 INTRODUÇÃO

A ecoeficiência é uma das medidas que contribuem para um futuro mais sustentável. Ela trata da produção e fornecimento de serviços e produtos competitivos no mercado com menor consumo de recursos naturais, especialmente aqueles de origem não renovável, e com menor geração de poluentes, visando assim o uso mais racional dos recursos naturais não renováveis na produção de bens (GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO, 2007; ECYCLE, 2024). Dessa forma, a ecoeficiência busca trazer rentabilidade utilizando menos matérias-primas e melhorando a eficiência de processos produtivos, produzindo mais, com menos recursos e com melhor resultado econômico. O resultado desejado de práticas e processos mais ecoeficientes é refletido no meio-ambiente, cujos recursos são empregados de uma maneira mais inteligente, na competitividade de mercado, na satisfação das necessidades humanas de forma sustentável e na qualidade de vida da sociedade em geral (FIA, 2021; BURNETT e HANSEN, 2008).

No contexto de preservação do meio ambiente no âmbito industrial, o melhor sistema produtivo é aquele que consegue, produzindo bens financeiramente competitivos, minimizar seu impacto na natureza durante todo o ciclo de vida do produto. Com isso, busca-se entregar ao mercado bens que satisfaçam as necessidades humanas de maneira qualificada. Empresas que conseguem ser eficientes tornam-se competitivas no mercado, não desperdiçam matérias-primas e contribuem para um futuro sustentável (FIA, 2021; BURNETT e HANSEN, 2008; ECYCLE, 2024).

A fim de reduzir o consumo de recursos, diminuir o impacto sobre o meio-ambiente e fornecer produtos de qualidade num contexto economicamente viável, existem alguns aspectos para se avaliar a ecoeficiência de um produto, aspectos esses também relacionados a iniciativas de economia circular. São eles: (1) diminuir o consumo de materiais com bens e serviços, (2) diminuir o consumo energético com bens e serviços, (3) minimizar a liberação de substâncias tóxicas, (4) ampliar a utilização sustentável de recursos renováveis, (5) promover a reciclagem dos materiais usados, (6) maximizar a utilização consciente dos recursos renováveis, fomentando a sustentabilidade, (7) estender a vida útil dos itens e (8) auxiliar na educação do público sobre a gestão de recursos naturais e energéticos (FIA, 2021; ECYCLE, 2024).

Investir na ecoeficiência, buscando equilíbrio entre o desempenho ambiental e o desempenho financeiro, pode trazer vantagens para corporações. Através de um sistema de gestão adequado, a ecoeficiência é essencial para diminuir custos de produção, aumentar os lucros, evitar riscos ambientais e ocupacionais, reduzir a poluição, chegar à conformidade legal ambiental, garantir a manutenção dos recursos naturais disponíveis e motivar as pessoas envolvidas com o produto a se engajarem em questões ambientais (FIA, 2021; BURNETT e HANSEN, 2008; LEAL JUNIOR et al., 2023).

A literatura apresenta a tendência de melhora na utilização de recursos naturais, mas faz a ressalva também de que ainda não se chegou ao patamar adequado de sustentabilidade ambiental, pois há progressivo aumento no consumo de recursos naturais, especialmente em regiões de crescimento de renda per capita. Em países já desenvolvidos, há uma tendência de melhor utilização de recursos ambientais, mas que não é suficiente por hora para contrapor o efeito crescente de maior consumo de recursos naturais em regiões emergentes (HOLM e ENGLUND, 2009).

A indústria química, historicamente importante para o desenvolvimento humano, porém também historicamente bastante poluente, vem passando por fortes transformações nas últimas décadas rumo a um cenário mais sustentável econômica, ambiental e socialmente (GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO, 2007; SILVESTRI et al., 2021; LOZANO et al., 2016). O surgimento de áreas como química verde, implementação de economia circular, mudança de processos produtivos, novas matérias-primas, melhor gestão energética etc., respaldando a mudança do modelo de negócio das empresas nessa indústria, alterando sua gestão de compras, cadeia de suprimentos, manufatura, interfaces com clientes, modelo de gestão financeira e proposta de valor ao mercado (GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO, 2007; SILVESTRI et al., 2021; LOZANO et al., 2016; LOPEZ, BASTEIN e TUKKER, 2019; METZGER e EISSEN, 2004).

Como nicho da indústria química, os últimos anos têm apresentado um cenário otimista à indústria de fitas adesivas, com aumentos de produção e faturamento, de modo geral. No entanto, dificuldades quanto à aquisição de matérias-primas conforme especificações de qualidade e nas quantidades desejadas, aumento de preços de insumos bem como dificuldades logísticas como

redução na disponibilidade de containers para frete internacional e de caminhões para frete local apresentam desafios no controle de custos e na produção de materiais necessários ao mercado B2B de fitas adesivas (AFERA, 2022). Além disso, o impacto da Covid-19 ainda limita, ainda que de maneira menos restritiva, a disponibilidade de mão-de-obra em diversos países, causando aumento de custos com medidas de proteção a saúde dos empregados, possíveis impactos como o fechamento temporário de turnos de produção, atrasos nas entregas de pedidos ou mesmo postergando a realização de investimentos (HALL et al., 2022; EUROSTAT, 2022; HIGGINS-DUNN et al., 2022; GAN, 2022).

Nesse panorama, as companhias estão sendo desafiadas a manter sua estrutura de custo dos produtos a níveis aceitáveis dentro do mercado para não perder competitividade e a trabalhar com regime operacional visando maior flexibilidade e automação. Aliado a isso, exigências de mercado e requisitos regulamentares colocam crescente pressão por produtos, processos produtivos e logísticos de menor impacto ambiental, com menor emissão de carbono, utilização de energias renováveis, menor emprego de água e de solventes orgânicos, produtos passíveis de uso em economia circular dentre outros (GROSS et al., 2021).

Dentre os mercados consumidores de fitas adesivas, um dos mais interessados e demandantes tanto de otimização de custos quanto de iniciativas sustentáveis e, portanto, demandando ecoeficiência, é o mercado automotivo. A indústria automotiva está cada vez mais seguindo rumo a sistemas de propulsão híbridos e/ou elétricos, o que torna os produtos aplicados a esses sistemas especialmente importantes. Dessa forma, as fitas adesivas empregadas em chicotes elétricos automotivos (CEA) são um foco de atenção, tanto do ponto de vista financeiro quanto de produto e sustentabilidade (OLBRICH e LACKINGER, 2022; IBÁÑEZ et al., 2021). As Figuras 1 e 2 apresentam exemplos de emprego de fitas adesivas em CEAs.

A presente pesquisa, no contexto exposto, busca então construir uma ferramenta de análise de ecoeficiência para a indústria de fitas adesivas de forma geral, podendo ser empregada em âmbito internacional e em diversos tipos de produtos. Na análise de ecoeficiência as possíveis fontes de matéria-prima, a cadeia logística como um todo e os possíveis processos de conversão foram analisados do ponto de vista de desempenho ambiental e de desempenho econômico. Tal ferramenta foi então aplicada num estudo de caso de fitas adesivas para CEAs

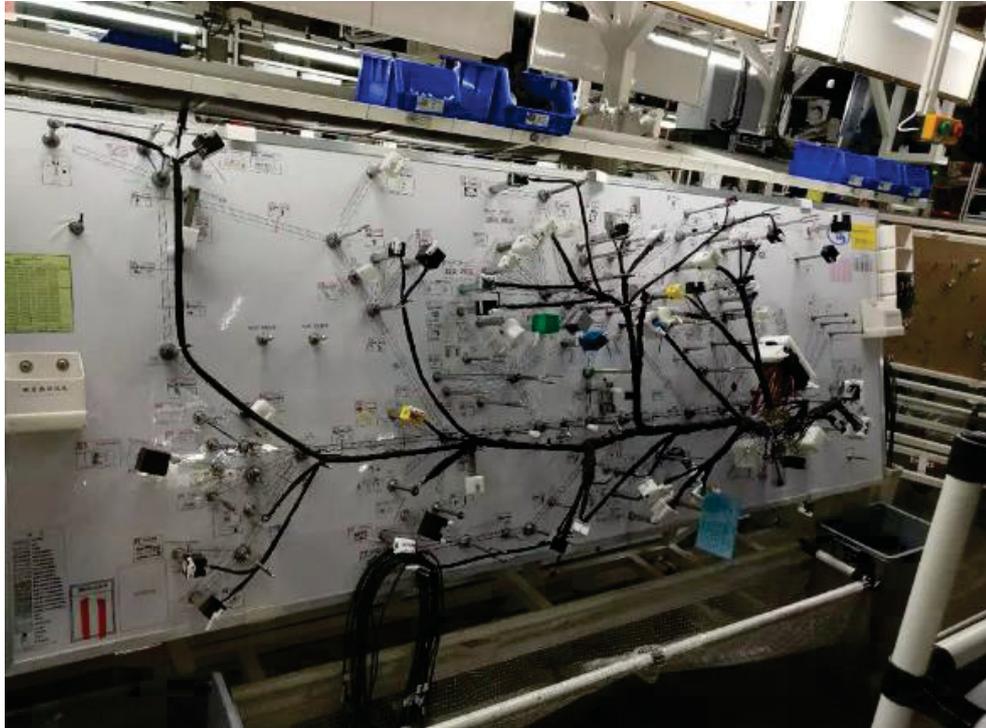
visando elencar a melhor fonte de compra de matérias-primas bem como o melhor processo de conversão a serem utilizados visando maximizar os desempenhos financeiro e econômico de forma agregada.

FIGURA 1 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE FITAS ADESIVAS EM CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS.



FONTE: Adaptado de TESA (2022).

FIGURA 2 – LINHA DE MONTAGEM DE CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS.



FONTE: QL-Custom (2022).

1.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O problema em questão neste estudo envolve a solução para as seguintes perguntas: “Levando em conta ecoeficiência (desempenho econômico e ambiental), qual a melhor opção de compra de jumbos A e B entre plantas na Alemanha e EUA para posterior conversão local de fitas adesivas de chicotes automotivos?” e “Por qual processo produtivo é melhor ser feita a conversão das fitas adesivas em Manaus/AM?”.

Nesse sentido, o problema envolve a comparação de dois produtos (A e B), ambos com jumbos produzidos em plantas na Alemanha e nos EUA. Esses jumbos serão importados para Manaus e localmente convertidos no produto final (rolos). Os rolos são transportados por cabotagem até um armazém em Itajaí/SC e de lá expedidos até os clientes.

O resultado esperado é a construção de uma ferramenta para um comparativo, para ambos os produtos A e B, quanto a ecoeficiência dos cenários avaliados, seus desempenhos econômico e ambiental na cadeia de valor como um todo. Uma vez obtidos os resultados, estes comporão um indicador tipo *single-score* que revelará a melhor opção de compra e processo fabril de conversão dos jumbos dos produtos A e B.

Mediante esta análise de ecoeficiência, tendo em vista resultados financeiros e também sustentabilidade ambiental, a ferramenta proposta suportará a tomada de decisão quanto à (1) escolher dentre as opções de plantas fornecedoras na compra de jumbos de fitas adesivas para posterior conversão e (2) escolher a melhor opção de processo de conversão para os jumbos a serem processados nem centros de conversão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral compreende propor uma ferramenta de análise de ecoeficiência aplicada a indústria de fitas adesivas de forma geral, analisando temas relativos a compras, logística, processos de manufatura e desempenhos ambiental e financeiro de maneira integrada.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos compreendem:

- Comparar o custo EXW dos possíveis fornecedores de jumbos de fitas adesivas para CEAs: plantas nos EUA e na Alemanha;
- Avaliar a estrutura de custos do processo de importação marítima de ambas as plantas para Manaus/AM, do processo de conversão, do processo local de cabotagem para o entreposto fiscal de Itajaí/SC bem como custos de armazenagem e entrega rodoviária aos clientes no Brasil;
- Avaliar o resultado integrado quanto a desempenho financeiro e ambiental nos diferentes cenários oriundos do contexto estudado;
- Aplicação da ferramenta mediante estudo de caso proposto.
- Efetuar uma análise de sensibilidade para avaliar como os custos variam em função do volume de produção para os diferentes processos de conversão a fim de ter um auxílio na tomada de decisão do processo produtivo de conversão a ser utilizado em função do volume.
- Efetuar uma análise de sensibilidade do single-score de ecoeficiência para avaliar como diferentes pesos entre variáveis econômicas e ambientais afetam a escolha da fonte de compra de jumbos, processo de conversão a ser utilizado e resultado financeiro geral.

O tipo de produto escolhido para validação do estudo de caso (fitas adesivas para CEAs) é devido as exigências da indústria automotiva no sentido de maior ecoeficiência de seus fornecedores, sendo, portanto, uma combinação apropriada de uma lacuna na indústria de fitas adesivas e da literatura correlata com as recentes exigências do mercado consumidor desse tipo de produto, a indústria automotiva, a nível internacional.

1.3 JUSTIFICATIVA

A indústria de fitas adesivas compreende um mercado que terá um crescimento anual médio (CAGR) estimado em 7,4% até 2028, atingindo um valor

anual de mercado de até US\$ 100 bilhões em nível global (MARKET RESEARCH FUTURE, 2022).

Como nicho da indústria química, a indústria de fitas adesivas também vem passando, ainda que de maneira mais tímida, por mudanças na direção de ecoeficiência, de maneira atrelada a química verde, economia circular, melhor gestão energética etc. Assim como na indústria química em geral, o modelo de negócio, a gestão de compras, a cadeia de suprimentos, os processos de manufatura, as interfaces com clientes, a estratégia corporativa, o modelo de gestão financeira e a proposta de valor ao mercado B2B estão passando por mudanças (GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO, 2007; SILVESTRI et al., 2021; LOZANO et al., 2016; LOPEZ, BASTEIN e TUKKER, 2019; METZGER e EISSEN, 2004).

A diferença entre a indústria química em geral e o nicho industrial de fitas adesivas é que enquanto estes temas já estão sendo tratados há tempos pela indústria química, no caso da indústria de fitas adesivas tais pontos só estão tomando relevância de poucos anos para cá, e ainda de forma tímida, sendo explorados de maneira mais relevante apenas pelos líderes de mercado por hora. Por isso, pouco há, tanto na literatura quanto na indústria, relativo à análise de ecoeficiência aplicada a fitas adesivas. No caso de fitas adesivas para CEAs, tal tema é menos ainda explorado do ponto de vista do produto e processo produtivo, como será melhor abordado no Capítulo 2 (Revisão da Literatura), o que contrasta com a importância que estes produtos estão tendo no contexto de eletrificação global dos veículos. Veículos de propulsão elétrica ou híbrida demandam mais chicotes elétricos que seus concorrentes com propulsão a combustão. No entanto, o quanto a mais é essa demanda varia em função do tipo de veículo. Assim, tanto a ferramenta em si quanto o estudo de caso no qual a mesma será validada encontram-se numa lacuna existente na literatura.

Enquanto os fabricantes de fitas adesivas líderes de mercado buscavam, até pouco tempo, ter uma gestão de compras, de cadeia de suprimentos, e de manufatura de forma tradicional, sem um forte respaldo de ecoeficiência, é no presente momento que estes temas saem de uma abordagem mais tímida para discussões mais profundas que gerarão transformações deste segmento industrial. Este ramo da indústria química é relativamente pouco explorado na literatura em temas que estejam relacionados a desempenho financeiro, gestão industrial,

eficiência de processos produtivos, sustentabilidade ambiental e economia circular. As iniciativas que se apresentam por parte das principais empresas produtoras deste tipo de produtos estão, também e ainda, pouco difundidas. Este ponto será mais aprofundado no Capítulo 2 (Revisão da Literatura). Dessa forma, o presente projeto de pesquisa busca, tanto na vanguarda acadêmica quanto na do ambiente industrial, construir uma ferramenta de análise de ecoeficiência, englobando aspectos financeiros, de processos produtivos, da cadeia de suprimentos e de sustentabilidade ambiental na cadeia B2B de fitas adesivas.

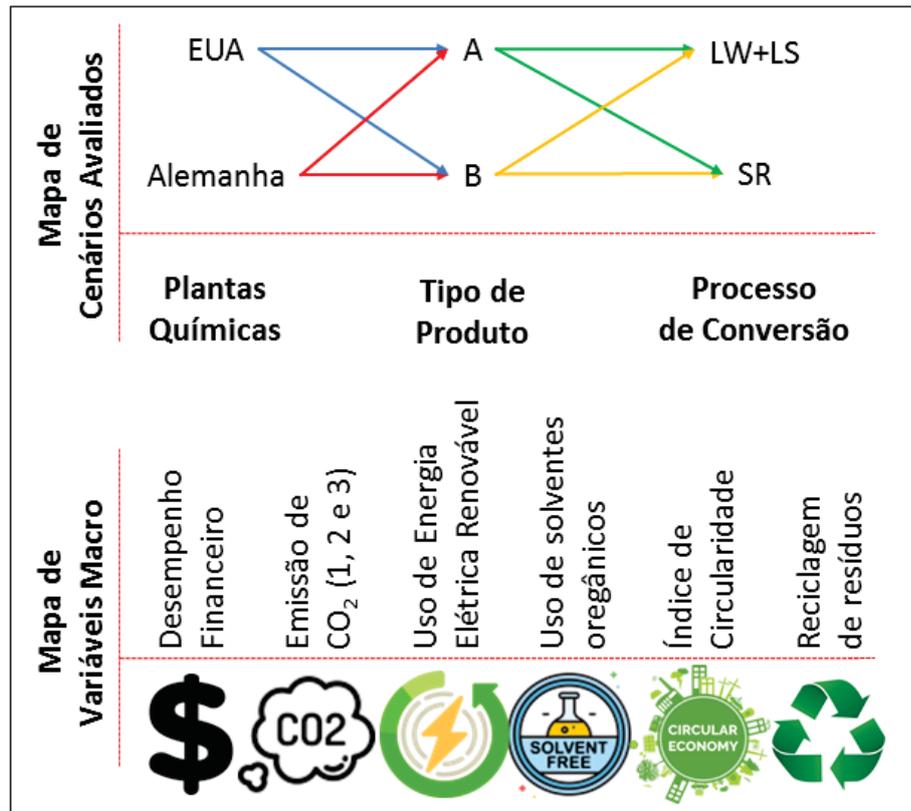
A análise de ecoeficiência aplicada a esse segmento industrial em geral, englobando desempenho econômico e ambiental de forma concomitante, é fundamental do ponto de vista estratégico para empresas que atuam em segmentos industriais. Além de atuar numa lacuna da literatura, o presente projeto terá como resultante uma ferramenta de grande valor para os setores financeiro, de engenharia, compras e administrativo de empresas do ramo de fitas adesivas, podendo ser aplicado não só no Brasil como no exterior também. Apesar de a aplicação da ferramenta nesta pesquisa focar em fitas adesivas para CEAs devido ao fato de clientes automotivos serem fortes impulsionadores de demandas relacionadas a sustentabilidade econômica e ambiental, a aplicação da ferramenta em si pode abranger mais produtos da indústria de fitas adesivas além daqueles enfocados nessa pesquisa.

1.4 PROPOSTA E DELIMITAÇÃO

Como proposta de estudo, serão comparadas duas plantas (nos EUA e na Alemanha) na etapa de processamento químico, que trata da produção de jumbos dos produtos A e B e a importação marítima a partir de ambas para conversão em Manaus/AM (processamento mecânico). O processo de conversão em Manaus poderá ser feito em etapa única com rebobinamento e corte simultâneos (SR) ou em duas etapas (LW+LS), onde há rebobinamento seguido de corte. Será também avaliado o processo de cabotagem para armazenagem num entreposto fiscal em Itajaí/SC e a entrega rodoviária em clientes majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. O comparativo final trará como métricas os componentes de ecoeficiência, tendo as variáveis e cenários avaliados apresentados em grupos macro na Figura 3, e que comporão o *single-score*.

Dessa forma, como delimitação, têm-se produtos A e B, com jumbos originários de plantas na Alemanha ou nos EUA, processos de conversão em Manaus em etapa única ou em duas etapas, fretes com importação marítima para Manaus, cabotagem até Itajaí e entrega rodoviária no cliente final. Também, a análise será feita com os dados disponibilizados pela empresa do estudo de caso.

FIGURA 3 – CENÁRIOS E VARIÁVEIS MACRO DO ESTUDO DE CASO.



FONTE: O autor (2024).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo está dividido da seguinte forma: (1) Introdução, (2) Revisão da Literatura, (3) Material e Métodos, (4) Estado da Arte Baseado na RSL, (5) Ferramenta de Análise de Ecoeficiência, (6) Análise de Sensibilidade e (7) Conclusão. Na Introdução é apresentado e contextualizado o problema de pesquisa, os objetivos e justificativa da pesquisa. Na Revisão da Literatura apresenta-se a fundamentação teórica do estudo baseada na literatura, empregando-se também um mapeamento do estado da arte mediante uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). No capítulo Material e Métodos apresentam-se os materiais e métodos da

pesquisa de forma detalhada. Nos capítulos 4, 5 e 6 há as seções dedicadas resultados da pesquisa e discussão dos mesmos, conforme dados obtidos mediante aplicação da metodologia empregada. Por fim, na Conclusão apresenta-se a conclusão do trabalho e etapas futuras sugestivas para a pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é abordada a fundamentação teórica que embasa a pesquisa. Na primeira parte encontra-se a fundamentação teórica acerca de fitas adesivas: aspectos envolvendo sua produção, distribuição, modelagem financeira e quanto a aspectos ambientais. Na sequência, aborda-se o tema da aplicação de fitas adesivas em chicotes elétricos automotivos.

2.1 COMPONENTES E PRODUÇÃO DE FITAS ADESIVAS

A Figura 4 exemplifica a construção genérica e básica de fitas adesivas, tanto simples quanto dupla-face, ilustrando seus componentes principais: adesivos, dorso, *primer*, *release coat*, *release liner*. Na sequência são detalhados cada um destes componentes, sua função e composição.



FONTE: O autor (2024).

2.1.1 Adesivos

Existem diversas formas de fixação de substratos disponíveis atualmente. Há os métodos de fixação mecânica (p.ex.: pregos, parafusos, costura etc.), soldas (eletrodo revestido, TIG e MIG/MAG para metais, bem como soldas ultrassônicas para plásticos) e sistemas adesivos de fixação. Dentre os diferentes tipos de adesivos, podem-se citar adesivos multipropósito, adesivos de silicone, adesivos de poliuretano, adesivos *jetmelt* (p.ex.: “cola quente”), adesivos de cianoacrilato (p.ex.: “*superbonders*”), adesivos epóxi (p.ex.: adesivos tipo durepoxi e araldite) e adesivos

PSA, sensíveis a pressão (aplicados em fitas adesivas) (MAASSEN et al., 2016; TESA, 2012).

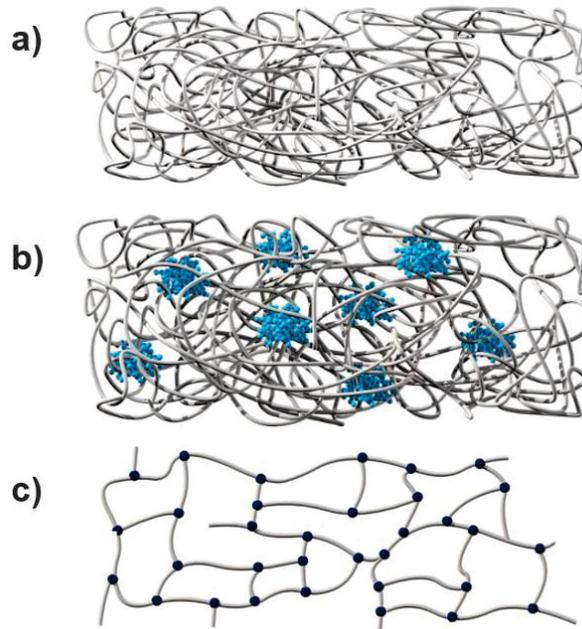
Os adesivos das fitas adesivas são classificados como PSA (*pressure sensitive adhesive* em inglês – adesivo sensível à pressão), e são diferentes dos adesivos líquidos como aqueles a base de materiais epóxi, cianoacrilatos, de silicone, PU, entre outros. Os adesivos PSA garantem que a fita adesiva possa aderir ao menor toque e, para tanto, têm uma formulação específica: combinam viscosidade (o estado de ser espesso, pegajoso e semifluido em consistência) com elasticidade. Dessa forma, um adesivo sensível à pressão é uma substância permanentemente pegajosa que adere a uma determinada superfície quando uma leve pressão é aplicada e não requer uma reação química para desenvolver forças de adesão. Adesivos do tipo PSA são ideais para unir materiais quando atendem a dois requisitos: por um lado, devem garantir que a fita adesiva e a superfície do substrato permaneçam unidas pelo tempo e pela força desejada ("adesão"). Por outro lado, a resistência interna do próprio adesivo deve ser tão forte quanto necessário para a finalidade pretendida ("coesão"). Para isso, a substância adesiva deve ser constituída por matérias-primas específicas em sua formulação (KOSTYUK et al., 2020; KOSTYUK et al., 2022; TESA, 2022).

Os adesivos PSA podem ser classificados de acordo com seu elastômero, conforme exemplificado na Figura 5, e de acordo com a forma de produção dos mesmos, conforme exemplificado nas Figuras 6 e 7. Os elastômeros mais comuns são borracha natural, borrachas sintéticas, poliacrilatos, silicone, PIB e EVA. No caso de PSAs de poliacrilato, atenção especial no processo produtivo dá-se a etapa de polimerização, na qual os componentes dos adesivos são misturados entre si em um processo químico. Posteriormente, os adesivos são preparados para que possam ser aplicados de maneira fácil e com baixa espessura no dorso desejado (AHMADI-DEHNOEI e GHASEMIRADI, 2021).

A forma de produção classifica os adesivos como base solvente (aqueles dissolvidos em solventes orgânicos como, por exemplo, hexano, octano e tolueno), base aquosa (aqueles dissolvidos em água) ou *hotmelt* (aqueles produzidos sem solventes orgânicos nem água) (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009).

FIGURA 5 – COMPARTIVO DAS ESTRUTURAS MACROMOLECULARES DE ADESIVOS DE DIFERENTES ELASTÔMEROS.

(a) borracha natural, (b) borracha sintética, (c) poliacrilato



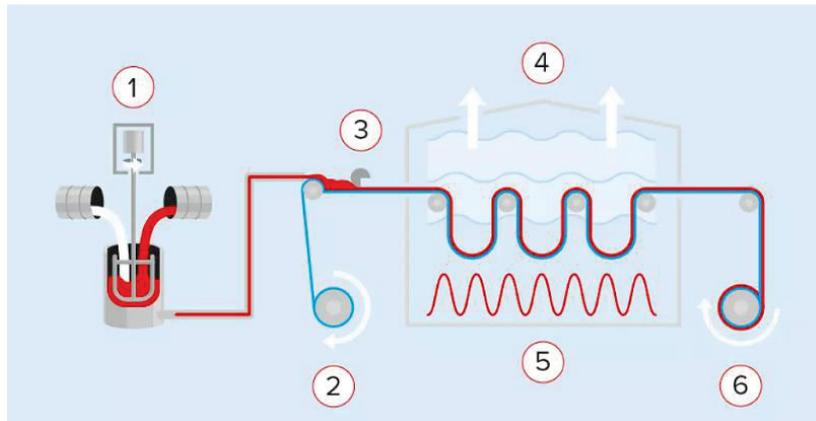
FONTE: Adaptado de TESA (2022).

Durante a produção, alguns adesivos são transferidos (*coated*) com um solvente orgânico. O PSA é aplicado/laminado em uma fina camada no dorso com o solvente. Em seguida, o dorso revestido com adesivo passa por um túnel de secagem e o solvente é vaporizado. O adesivo PSA da fita adesiva fica sólido e é assim fixado no dorso após o processo de secagem. O solvente evaporado é quase totalmente recapturado e realimentado na produção do adesivo. Nesse processo, fitas adesivas com adesivos a base solvente são produzidas misturando-se os componentes do adesivo (etapa de mistura), aplicando-se o adesivo, *primer* e *release coat* no dorso (etapa de *coating*). Depois desta etapa de *coating* vem a conversão do material (onde grandes jumbos são rebobinados e cortados até o formato dos rolos, sendo este o produto final) e subsequente embalagem. Quando se empregam adesivos a base aquosa o processo é basicamente o mesmo, com a diferença que o solvente empregado no processo é a água, e não mais um solvente orgânico. Fitas adesivas com adesivos *hotmelt* não tem o uso de solventes. Os componentes do adesivo são misturados e aquecidos até que o adesivo esteja fundido. O mesmo é então extrudado e laminado no dorso da fita (etapa de *coating*) onde, ao invés de ser solidificado por processos de secagem, o é por resfriamento

(BENEDEK e FELDSTEIN, 2009; ASI, 2022; NITTO DEKO, 2022; PIZZI e MITAL, 2018).

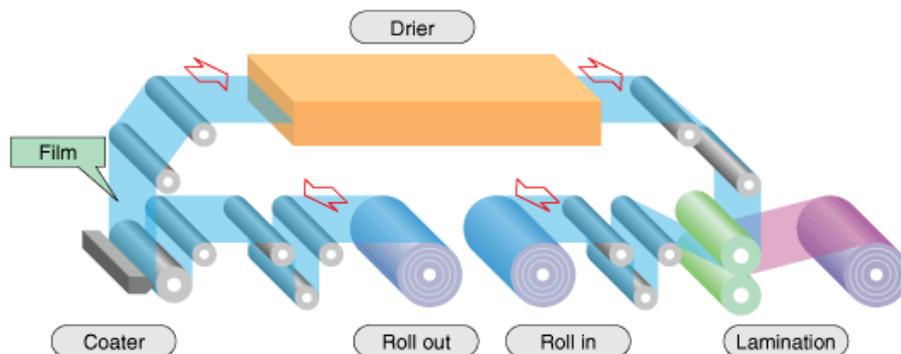
FIGURA 6 – ESQUEMA BÁSICO DE PRODUÇÃO DE ADESIVOS BASE SOLVENTE E BASE AQUOSA.

(1) mistura/preparação do adesivo, (2) desenrolamento do dorso, (3) *coating*, (4) evaporação de solvente/água, (5) câmara de secagem e (6) embobinamento do jumbo.



FONTE: TESA (2022).

FIGURA 7 – ILUSTRAÇÃO DO CONCEITO DE COATING E LAMINAÇÃO.



FONTE: NITTO DENKO (2022).

2.1.2 Dorso

O dorso tem a função de, primariamente, servir de suporte mecânico ao adesivo e ao primer. Em teoria, qualquer material de baixa rugosidade, de baixa espessura e flexível pode ser empregado como dorso de uma fita adesiva. Isso o adequa para quase todas as aplicações em diversos substratos. O material em si desempenha um papel crítico, dependendo de onde, por quanto tempo e para qual

finalidade uma fita adesiva deve ser usada (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009; NITTO DENKO, 2022; TESA, 2022).

Os dorsos são projetados para suportar certas forças ou para romper a uma força de tensionamento definida, para serem opticamente transparentes, opacos ou refletivos, para serem permeáveis ou para funcionar como uma barreira, para serem extremamente finos (p.ex.: 1,5 μ m) ou muito espessos (p.ex.: acima de 4mm). Os dorsos servem também como preenchimento de espaço ou atenuadores de ruído, permitem que a fita seja aplicada automaticamente por máquinas etc. Na prática, os materiais mais comumente empregados são filmes plásticos (p.ex.: PVC, PE, PP, PET, PU, MOPP, BOPP etc.), papéis (p.ex.: crepe, kraft, washi), tecido ou não-tecido, espumas (p.ex.: espumas de PE, EVA, núcleo acrílico, PU, BR etc.) e folhas metálicas (p.ex.: alumínio, cobre). (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009; ASI, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022).

2.1.3 Primer e Release

Primer é um tratamento químico ou físico aplicado no dorso a fim de aumentar a aderência do adesivo junto ao mesmo. O *primer* físico consiste basicamente em tratamento corona (descarga elétrica de alta voltagem e alta frequência), muito utilizado em filmes plásticos para aumentar a baixa energia de superfície do mesmo, conforme ilustrado na Figura 8. Empregado em filmes como, por exemplo, PE e PP. *Primers* químicos são compostos aplicados entre o dorso e o adesivo na etapa de *coating*, e podem aumentar a adesão do dorso mediante interações intermoleculares (*primers* não reativos) ou mediante o estabelecimento de ligações químicas (*primers* reativos). (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009; ASI, 2022; VETAPHONE, 2022; BAGIATIS et al., 2019).

FIGURA 8 – DISPOSITIVO DE TRATAMENTO CORONA EM FILMES.



FONTE: VETAPHONE (2022).

Release coat é a camada de revestimento aplicada no dorso do lado oposto ao adesivo em fitas simples-face. É um composto antiaderente e serve primariamente para garantir força de desenrolamento definida, estável e controlada. Pode ser um composto químico apolar (p.ex.: carbamatos, silicones, dispersões a base de borracha ou acrílicas, compostos esses que são aplicados na mesma linha de produção onde se faz o *coating* do adesivo PSA no dorso, conforme ilustrado na Figura 9) ou então mecânico, onde a própria rugosidade do dorso diminui a área de contato com o adesivo, permitindo assim o desenrolamento do material mais facilmente. Nesse caso, não há a aplicação de produtos químicos. No caso de fitas dupla-face, ao invés do *release coat* há o emprego de um *release liner* sobre um dos lados da fita, chamado adesivo coberto. Além de atuar no desenrolamento, o *release liner* serve para proteger o adesivo e garantir propriedades mecânicas definidas para a conversão do produto. Materiais comuns para *release liner* são papel couché, papel glassine, papel kraft, papel revestido com PE, filmes de MOPP, de PE e de PET (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009; HINTERWALDTNER, 1984; MOUSTAFA, 2014; TESA, 2022).

FIGURA 9 – EXEMPLO DE UNIDADE DE COATING BASE SOLVENTE COM APLICAÇÃO DE ADESIVO E RELEASE COAT.



FONTE: GUZZETTI (2022).

2.1.4 Conversão de fitas adesivas

O processo completo de produção de fitas adesivas compreende as etapas descritas previamente: mistura/preparação do adesivo, *coating*, secagem, conversão e embalagem. No entanto, é comum que empresas de fitas adesivas concentrem as etapas de mistura, *coating* e secagem (processo químico) em poucas plantas, produzindo assim jumbos, bobinas largas e compridas (p.ex.: 1500mm de largura x 4000m de comprimento). Esses jumbos são então distribuídos internacionalmente para plantas menores que fazem os processos de conversão mecânica e embalagem, chamados também de centros de conversão.

O processo de conversão pode ser feito em uma ou duas etapas:

- (1) Em duas etapas, rebobinando os jumbos em *logs* (*log winding* - LW), onde é mantida a largura original porém o comprimento é reduzido (p.ex.: 1500mm de largura x 50m de comprimento) e depois cortando-se os *logs* em rolos (*log slicing* - LS), onde o comprimento é mantido e a largura reduzida (p.ex.: 50mm de largura x 50m de comprimento), sendo este o produto final a ser embalado, normalmente em sacos plásticos e caixas de papelão. Um exemplo comparativo entre jumbos, logs e rolos pode ser visto na Figura 10. Um exemplo de máquina utilizada para LW é apresentado na Figura 11 e de máquina para LS é apresentado na Figura 12.
- (2) Utilizando-se equipamentos mais sofisticados, pode-se passar em uma etapa só de jumbos para rolos mediante um processo de *slit-rewinding* - SR, eliminando-se os logs do processo, ganhando mais velocidade e, teoricamente gerando menos custos, menor gasto energético e diminuindo a necessidade de mão-de-obra. A desvantagem deste processo único é que este exige maior aporte financeiro em equipamentos e operadores também mais especializados e custosos (CAN-DO, 2022). Um exemplo de máquina para SR é apresentado na Figura 13.

FIGURA 10 – JUMBOS, LOGS E ROLOS.



FONTE: O autor (2024).

FIGURA 11 – LOG WINDER GUZZETTI LG500.



FONTE: GUZZETTI (2022).

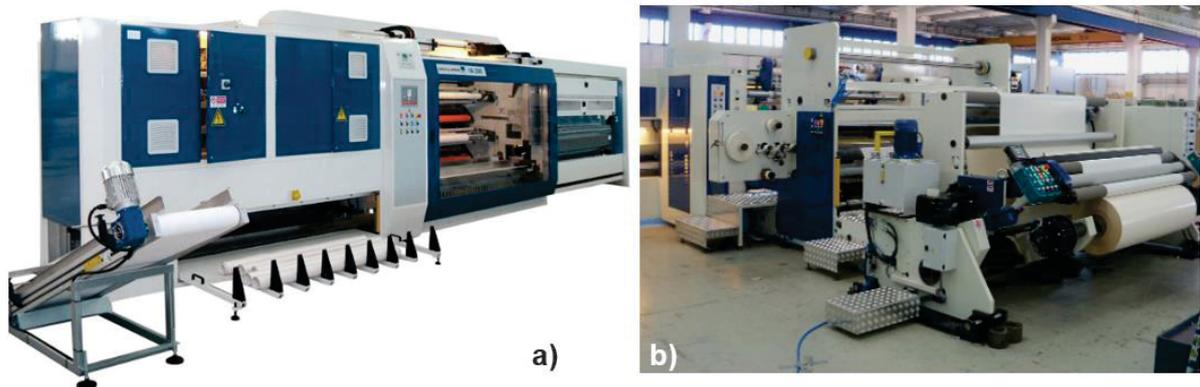
FIGURA 12 – LOG SLICER SCAIN MFS80.



FONTE: SCAIN (2022).

FIGURA 13 – SLITTER-REWINDER GHEZZI & ANNONI FA300.

(a) vista frontal e (b) vista posterior do equipamento.



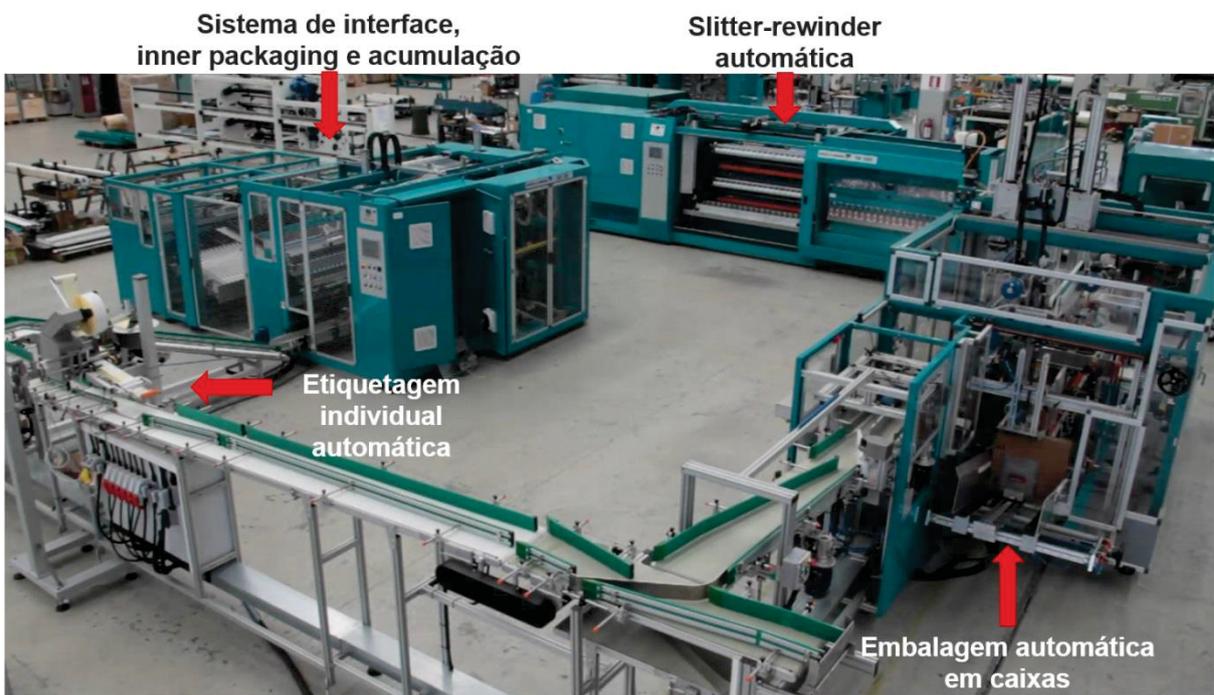
FONTE: GHEZZI & ANNONI (2022).

O processo de conversão a ser definido (seja LW+LS ou então SR diretamente) dependerá das características do produto a ser convertido, do volume de produção por hora necessário, da capacidade de investimento e aporte de capital da empresa em ativos fixos, bem como do nível de capacitação do corpo técnico da mesma.

Existem produtos que, ainda que tenham um nível de produção altíssimo, não podem, por características técnicas do material, serem convertidos em processos de SR. Exemplos dessa categoria incluem as fitas dupla-face de núcleo acrílico como as 3M VHB®, tesa ACX^{plus}®, Nitto Denko HYPERJOINT® etc. Da mesma forma, há produtos que, devido a necessidade de baixo custo e sensibilidade

do mercado a preços, não admitem um processo em duas etapas, sendo mandatória a conversão em processo único. Nesse caso podem-se incluir as fitas de empacotamento (p.ex.: 3M Durex®), fitas crepe e produtos semelhantes que tem comportamento direcionado a *commodities*: alto volume, baixa variação de mix de produção, baixo custo, baixo preço e baixa diferenciação técnica. Para estes casos busca-se empregar o máximo de produtividade e automação possível no processo fabril, em linhas integradas de SR e embalagem, conforme exemplo na Figura 14.

FIGURA 14 – LINHA DE CONVERSÃO E EMBALAGEM INTEIRAMENTE AUTOMÁTICA GHEZZI & ANNONI.



FONTE: Adaptado de GHEZZI & ANNONI (2022).

2.2 FITAS ADESIVAS APLICADAS EM CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS

Os chicotes elétricos automotivos (CEA), conforme processos atuais de produção, demandam um alto grau de trabalho manual em sua montagem. Tais CEAs são um conjunto de cabos elétricos e outros componentes para conectar unidades de controle, sensores e atuadores. Os fios são encaixados a terminais elétricos e encapados com fitas adesivas, tubos plásticos e/ou outros materiais protetores (TROMMNAU et al., 2019; IBÁÑEZ et al., 2021).

Os CEAs são distribuídos no veículo em áreas como portas, sistemas de controle do motor, painel, bancos etc. No entanto, podem-se dividir, basicamente, os chicotes em dois tipos principais: aqueles para a região do motor e aqueles para o habitáculo dos passageiros, este último tipo conforme ilustrado na Figura 15. Os chicotes da região do motor demandam fitas adesivas que tenham alta resistência a abrasão, temperatura e resistência mecânica (BOSCH, 2011). Os CEAs presentes na cabine do veículo têm como requisito principal prover conforto acústico, atenuação de ruídos (TESA, 2022). Mediante a otimização dos chicotes elétricos, há a constante busca, por parte dos fabricantes de veículos, de reduzir a massa dos componentes, o que auxilia na redução do consumo e emissões do veículo (VILLANUEVA-REY et al., 2018).

Em relação a estrutura das fitas adesivas aplicadas nos CEAs, os produtos geralmente têm dorsos de materiais como tecido de PET, não-tecido de PET, feltro de PA, filme de PVC, filme de PP, alumínio laminado com fibra de vidro, PA laminado com PET, tecido de Rayon, tecido de POD, espuma de PU ou ainda filme de PE. Os adesivos usualmente usam tecnologia em acrílico base aquosa, acrílico base solvente, borracha base solvente ou borracha base aquosa (CERTOPLAST, 2022; COROPLAST, 2022). O produto é definido seguindo especificações de clientes baseadas em requisitos funcionais como região de aplicação, material do dorso, tipo de adesivo, resistência a abrasão, atuação acústica, dimensional (largura, comprimento e espessura), resistência a temperatura, cor e compatibilidade com os materiais do restante do chicote (COROPLAST, 2022).

A norma que padroniza as fitas adesivas para CEA é a LV312, segundo a qual os produtos são classificados conforme disposto no Quadro 1.

QUADRO 1 – PADRÕES DA NORMA LV-312 PARA AS FITAS ADESIVAS PARA CEAS.

		Classe				
Propriedade	Unidade	A	B	C	D	E
Resistência a abrasão	# Ciclos	<100	100-499	500-999	1000-4999	≥5000
Atenuação acústica	dB	2	2<x≤5	5<x≤10	10<x≤15	>15
Resistência a temperatura	°C @ 3000h	85	100-105	125	150	>150
Classe de temperatura	-	T1	T2	T3	T4	T5
Grau de desempenho		Insuficiente	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

FONTE: LV-312 (2005).

Além dos requisitos funcionais, é importante notar que cada vez mais fabricantes de veículos e também de chicotes estão buscando por materiais e soluções com maior grau de sustentabilidade, reciclagem e circularidade. Esse é um dos fortes motivos, por exemplo, para muitos adesivos antes produzidos em base solvente terem novas tecnologias que possibilitem sua produção em etapas de *coating* base aquosa e até mesmo com monômeros biodisponíveis (VILLANUEVA-REY et al., 2018; DROESBEKE et al., 2021; FENG e LI, 2022; FANG et al., 2020). Os materiais dos dorsos também estão paulatinamente seguindo no mesmo rumo: materiais recicláveis, de tendência circular. Por fim, as próprias embalagens e operação logística também estão num momento de tendência a ser cada vez mais enxutas, circulares e otimizadas em JIT (SILVA e PÁLSSON, 2022; JULIANELLI et al., 2020; YAN et al., 2021).

FIGURA 15 – EXEMPLO DE CHICOTE ELÉTRICO COM FITAS ADESIVAS NA REGIÃO DO HABITÁCULO DO VEÍCULO.



FONTE: Adaptado de TESA (2009).

2.3 CUSTO DO PRODUTO E MÉTODOS DE CUSTEIO

2.3.1 Custos e Despesas

Custos de produção compreendem todos os gastos necessários para transformar uma matéria-prima em um produto acabado pronto para comercialização. Compreendem componentes relacionados a materiais diretos (p.ex.: matérias-primas, embalagens, transporte, manuseio, estocagem), mão-de-obra direta (p.ex.: salários, benefícios, encargos), utilidades (p.ex.: energia, ar

comprimido, água de resfriamento, vapor), custos fixos de produção (p.ex.: manutenção, depreciação, aluguel de prédio fabril, refeitório, segurança etc.) e custos variáveis diversos (p.ex.: custos adicionais de embalagem, roupas, custos e/ou receitas atrelados a subprodutos e refugos etc.) (KATO, 2015).

Despesas são gastos realizados na execução de atividades que vão gerar renda efetiva a uma empresa. São geralmente associados a atividades administrativas, de recursos humanos, vendas e *marketing*, *royalties* etc. As despesas de vendas representam os gastos de promoção, colocação e distribuição dos produtos da empresa. As despesas administrativas representam os gastos pagos ou incorridos, para direção ou gestão da empresa. Despesas de recursos humanos geralmente envolvem treinamentos, *softwares* de produtividade, serviços especializados etc. *Royalties* compreendem um montante pago por alguém a um proprietário pelo direito de uso, exploração e comercialização de um bem. São exemplos de bens: produtos, obras, marcas e terrenos (KATO, 2015; LOPES, 2015; REIS, 2022).

2.3.1.1 Custo Padrão

O Custo do Produto Vendido (CPV) é, via metodologia de Custo Padrão, calculado pela soma dos Custos e Despesas referentes ao mesmo, tomado como base para o registro da produção antes da determinação do custo efetivo, real. Em sua concepção gerencial, o custo-padrão indica um “custo ideal”, referencial que deverá ser buscado como meta, servindo de base para a administração medir e eficiência da produção e conhecer as variações de CPV. Esse custo ideal seria aquele que deveria ser obtido pela indústria nas condições ótimas de eficiência e rendimento. Nessa metodologia de custeio, o padrão é mensurado por medidas físicas e monetárias dos recursos produtivos e serve para formulação de metas de CPV, para ter-se um planejamento e controle de custo total e para a fixação de uma base de comparação entre o que deveria ocorrer (Custo Padrão) e o que de fato está ocorrendo na empresa (Custo Real, por Absorção) (KATO, 2015; LOPES, 2015; LUNELLI, 2023; CFC, 2013).

Algumas características essenciais do método de custeio padrão são (LUNELLI, 2023; ZANLUCA, 2023; CFC, 2013):

- (1) Pré-fixação de seu valor, com base no histórico ou em metas a serem perseguidas pela empresa;
- (2) Pode ser utilizado pela contabilidade, desde que se ajustem, periodicamente, suas variações para acompanhar seu valor efetivo real (pelo método do custo por absorção).
- (3) Permite maior facilidade de apuração de balancetes, sendo muito utilizado nas empresas que precisam grande agilidade de dados contábeis.

2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS

A indústria de fitas adesivas, como nicho da indústria química, tem interface com diversos outros segmentos industriais. Devido à alta variedade de insumos que esta indústria consome (borrachas, papéis, monômeros, embalagens, plásticos, metais, fibras, tecidos, não-tecidos, solventes, serviços industriais diversos etc.) bem como a diversa gama de clientes B2B a quem fornece seus produtos (indústrias automotiva, eletrônica, de embalagem, construção, alimentos, farmacêutica, militar, naval, de energias renováveis etc.), a variedade de componentes no sistema de gestão integrada destas companhias é bastante vasta. No entanto, verifica-se uma tendência entre os principais fabricantes de fitas adesivas para o mercado automotivo em investir nas seguintes frentes quanto à sustentabilidade ambiental:

- Incrementar o uso de energias renováveis nos processos produtivos, sendo esta de origem solar ou eólica principalmente (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020);
- Redução no uso de água nos processos produtivos mediante otimização e inovação tecnológica, reuso e reciclo (3M, 2022; TESA, 2022; YONGLE, 2022);
- Redução de emissões de GHG, CO₂ equivalente e similares (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020; SCAPA, 2022; YONGLE, 2022);
- Digitalização mediante iniciativas de Indústria 4.0, tecnologias de regime híbrido e otimização de trabalho etc. (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020);

- Implementação de certificações de qualidade, segurança e meio-ambiente tais como ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001, IATF 16949 (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020; CERTOPLAST, 2022; SCAPA, 2022; YONGLE, 2022);
- Redução de resíduos dos processos produtivos, especialmente plásticos (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020; SCAPA, 2022);
- Direcionamento estratégico rumo a operações e desenvolvimento de produtos alinhados com iniciativas de economia circular (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020);
- Alinhamento com os objetivos de sustentabilidade do *Global Compact* da ONU (ONU, 2022; 3M, 2022; TESA, 2022);
- Comprometimento com iniciativas ligadas a melhoria de governança (3M, 2022; TESA, 2022; NITTO DENKO, 2022; COROPLAST, 2020; SCAPA, 2022).

No Quadro 2 segue o resumo das estratégias e ações de sustentabilidade por empresa mapeada.

QUADRO 2 – ESTRATÉGIAS E AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DOS PRINCIPAIS FORNECEDORES DE FITAS ADESIVAS AO MERCADO AUTOMOTIVO.

Tópico	3M	tesa	Nitto Denko	coroplast	certoplast	Scapa	YongLe
Emprego de Energias Renováveis	X	X	X	X			
Otimização no Uso de Água	X	X					X
Redução de CO ₂ -equivalente emitido	X	X	X	X		X	X
Iniciativas de Digitalização	X	X	X	X			
Certificações de Qualidade	X	X	X	X	X	X	X
Redução de Resíduos Industriais	X	X	X	X		X	
Produtos Circulares	X	X	X	X			
Alinhamento ao Global Compact da ONU	X	X					
Melhoria de Governança	X	X	X	X		X	

FONTE: o Autor (2024).

2.5 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

A economia atual pode ser, de forma geral, descrita como linear: insumos virgens são extraídos da natureza e usados para fabricar produtos, que são então consumidos e, eventualmente, descartados. Este modelo econômico daria origem a níveis cronicamente elevados de resíduos e criaria dependência entre desenvolvimento econômico e necessidade de insumos de material virgem. Num contexto de recursos finitos, o modelo econômico linear tenderia a não funcionar a longo prazo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Em contraste, a Economia Circular (EC) é um modelo econômico que visa separar crescimento e desenvolvimento do consumo de recursos finitos. A EC é um

modelo econômico restaurativo por definição e visa manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto grau de utilidade e valor, buscando o gerenciamento de materiais que fluem em ciclos biológicos e/ou técnicos. Nos ciclos técnicos, materiais são mantidos, reutilizados, reformados e reciclados. Nos ciclos biológicos, materiais atóxicos são cascadeados e eventualmente retornados ao meio ambiente, restaurando assim o capital natural. A Figura 15 apresenta a representação gráfica dos ciclos biológico e técnico. Nesse contexto, surge o conceito 6R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar, Remanufaturar, Reprojeter), onde a ênfase não está exclusivamente na economia ou nos aspectos ambientais e sociais, mas no “Triple-Bottom-Line”, ou a combinação de economia, meio ambiente e sociedade num só (BRADLEY et al., 2018; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015; TOLIO et al., 2017; ARJALIÈS e MUNDY, 2013; LURENÇO e BRANCO, 2014).

A crescente preocupação com as questões ambientais afeta diretamente a gestão dos negócios e as práticas sociais. Ademais, a pressão para minimizar os danos ambientais é um forte impulsionador para a otimização das cadeias de suprimento e logísticas, visando o desenvolvimento sustentável e a transição para um modelo mais circular e de baixo carbono. Tanto nas economias desenvolvidas quanto nas emergentes, os fabricantes são impulsionados a melhorar sua produtividade usando recursos sustentáveis e eficientes a fim de eliminar danos e passivos ambientais (DE SOUZA et al., 2022; JULIANELLI et al., 2020; SILVA e PÅLSSON, 2022).

TOLIO et al. (2017) diz que uma transição para a EC pode representar um novo caminho de crescimento sustentável, bem como uma oportunidade de negócios para a indústria manufatureira mundial. Em um mundo de quase 9 bilhões de pessoas esperadas para 2030 (incluindo 3 bilhões de novos consumidores de classe média) os desafios de expandir a oferta de recursos para atender à demanda futura são sem precedentes, cenário no qual sem repensar os paradigmas da economia linear insumos vitais para a indústria poderiam se esgotar nos próximos 50 anos. Dessa forma, um modelo industrial que dissocie as receitas dos insumos materiais e a produção do consumo de recursos é necessário para alcançar um caminho de desenvolvimento sustentável, tanto nos países industrializados iniciais quanto nas economias emergentes.

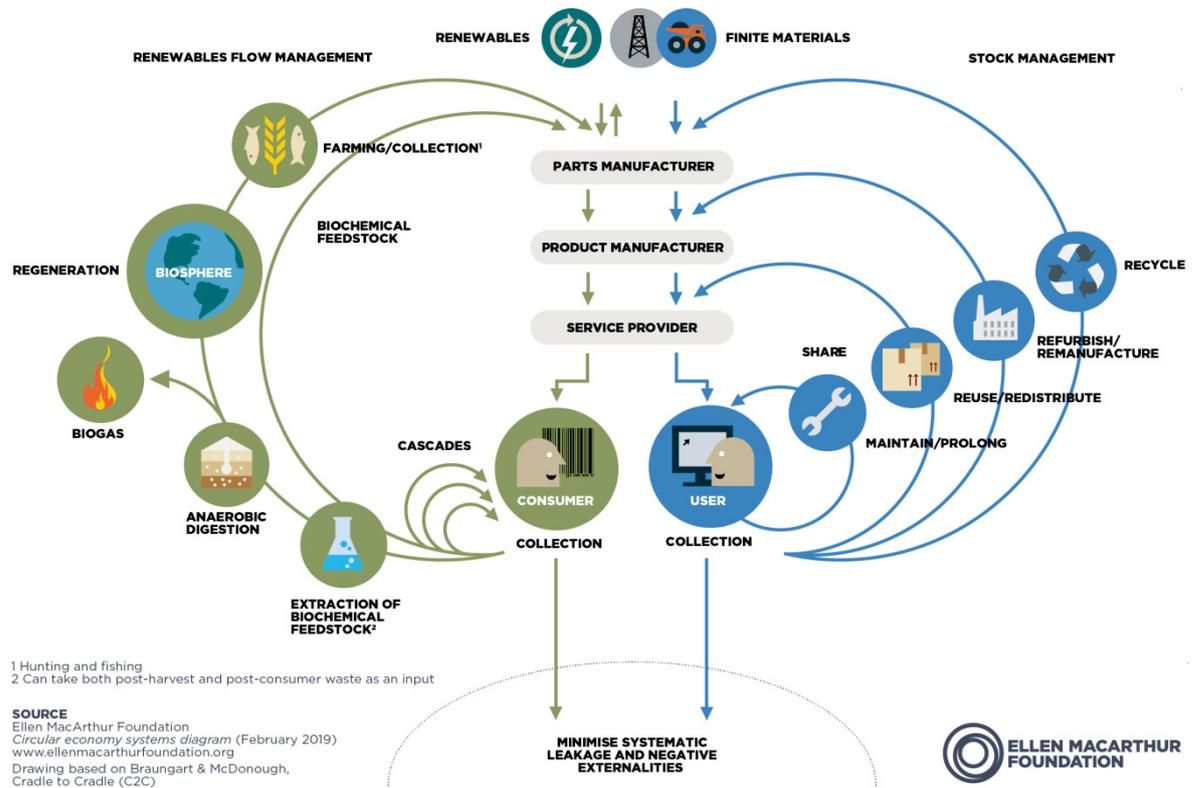
REIKE et al. (2018) propõem que, com base na sua revisão da literatura, o conceito de economia circular evoluiu através de três fases. Na primeira fase (1970-

1990), o conceito preocupava-se em lidar com resíduos. A ideia principal neste momento era que não se deveria apenas despejar resíduos, mas encontrar formas de os gerir e reciclar. A segunda fase (1990-2010) trata de conectar insumos e resultados em estratégias para a ecoeficiência. A literatura utiliza conceitos como análise de ciclo de vida, ecologia industrial e design para o meio ambiente. A ênfase está nas empresas que lucram com a solução de problemas ambientais. A terceira fase (2010 em diante) centra-se na maximização da retenção de valor no contexto de escassez de recursos. A diferença na terceira fase em comparação com outras fases é que uma abordagem de ciclo fechado não é aplicada apenas em áreas geograficamente próximas, mas em cadeias de abastecimento inteiras. Há nessa terceira fase o foco nos modelos de negócios e ao invés de focar apenas nos aspectos técnicos, abrangendo também os aspectos culturais de uma organização.

A indústria automotiva, de forma específica, enfrenta desafios potencialmente disruptivos. O aumento da produção de veículos elétricos e os apelos à preparação para a implementação de estratégias de EC demandam cada vez mais adaptações sistêmicas. Estas adaptações devem permitir a máxima preservação da função e valor dos produtos (p.ex.: prolongamento da vida útil), componentes (p.ex.: reutilização de peças) e materiais (p.ex.: reciclagem de materiais), poupando assim energia, materiais e esforços. Sem nenhuma adaptação adicional do sistema produtivo como um todo, uma parcela crescente de veículos elétricos até o ano de 2050 levará a um esforço substancialmente maior na produção, bem como no tratamento de veículos em fim de vida (HALLACK et al., 2022; PARCHOMENKO et al., 2021).

Nesse contexto, como apresentado no Quadro 2, a indústria de fitas adesivas está buscando produtos e processos que suportem a economia circular, especialmente na interface com produtos destinados a aplicações automotivas. Isso implica em melhores processos produtivos e produtos mais assertivos no contexto 6R. Os aspectos ambientais concernentes a indústria de fitas adesivas e suas respectiva otimização estão ligados, assim, a um maior grau de circularidade e ecoeficiência em produtos e/ou processos.

FIGURA 16 – CICLOS TÉCNICO E BIOLÓGICO.



FONTE: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019).

2.6 ECOEFICIÊNCIA

Ecoeficiência trata da busca por otimizar produtos e processos de forma que os mesmos consumam o mínimo de recursos naturais, especialmente os não-renováveis, que sejam o menos poluentes possível e que além ao menor impacto ambiental a produção de bens a custos adequados (GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO, 2007). Dessa maneira, produtos e processos mais ecoeficientes tendem a consumir menos insumos virgens, a estarem aliados a conceitos de economia circular, a minimizar desperdícios e maximizar lucros (FIA, 2021; BURNETT e HANSEN, 2008).

OLIVEIRA NETO et al. (2023) destaca a importância de lançar mão de iniciativas de economia circular, reciclagem e melhores métodos de gestão de resíduos na indústria a fim de minimizar impactos ambientais bem como para gerar maior rentabilidade a operações industriais no setor metalmeccânico. CHEN et al. (2019), analisando um cenário regional no contexto industrial chinês, realçam que mudanças no sentido de análise e melhorias de ecoeficiência podem trazer

melhorias em custo de oportunidade a empresas quando aliadas, por exemplo, a políticas e legislação ambiental em âmbito industrial. BURNETT e HANSEN (2008) indicam que empresas menos poluentes podem ser mais eficientes que empresas mais poluentes e também que é possível que empresas, simultaneamente, reduzam impacto poluente e ganhem eficiência produtiva, portanto melhorando custo produtivo e dispêndio com gestão ambiental.

A fim de obter maior ecoeficiência em produtos e processos, as empresas buscam dispor de iniciativas e práticas ambientais e de economia circular no sentido de diminuir o consumo de insumos, diminuir o consumo energético e focar em matrizes energéticas mais limpas, minimizar a emissão de substâncias tóxicas, lançar mão de recursos renováveis de forma responsável, reciclar materiais usados, maximizar a utilização de recursos renováveis, aumentar a vida útil dos produtos produzidos e auxiliar na educação social sobre gestão de recursos naturais e energéticos (FIA, 2021). A busca por ecoeficiência é, então, valiosa no sentido de reduzir custos e aumentar a rentabilidade corporativa. Por outro lado, empresas com maior maturidade em ecoeficiência tendem a estar em cenários onde minimizam riscos ambientais, reduzem a poluição, garantem a conformidade a requisitos de legislação ambiental, a manutenção dos recursos naturais disponíveis e motivam as partes interessadas com o produto a se engajarem em questões ambientais (FIA, 2021; BURNETT e HANSEN, 2008; LEAL JUNIOR et al., 2023).

RODRÍGUEZ et al. (2022) apresenta um estudo de modelagem e indica a necessidade e importância de mensurar ecoeficiência e circularidade. Destaca a necessidade de compreender e medir a transição para modelos circulares de negócio. Para serem competitivas no mundo empresarial atual, muitas empresas precisam migrar para um regime ecoeficiente e circular para serem sustentáveis a longo prazo. Por se tratar de um paradigma recente, existem muito poucas escalas para medir a taxa de adoção da econômica circular e de ecoeficiência pelas organizações. PARK e BEHERA (2014), por outro lado, realçam que há uma relação quantitativa de benefício entre empresas em redes ecoeficientes de simbiose industrial.

HOLM e ENGLUND (2009) indicam uma tendência de melhora na utilização de recursos naturais, mas ressaltam que ainda não se chegou ao patamar adequado de sustentabilidade ambiental. Enquanto em países já desenvolvidos, há uma tendência de melhor utilização de recursos ambientais, esta não é suficiente

contrapor o efeito crescente de maior consumo de recursos naturais em regiões emergentes.

GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO (2007), SILVESTRI et al. (2021), LOPEZ, BASTEIN e TUKKER, (2019) e METZGER e EISSEN (2004) e LOZANO et al. (2016) indicam que a indústria química vem se transformando rumo a um cenário mais ecoeficiente, sustentável econômica, ambiental e socialmente, com maior foco em iniciativas de ecoeficiência em áreas recentes como química verde, implementação de economia circular, mudança de processos produtivos, novas matérias-primas, melhor gestão energética etc., mudando sua gestão de compras, cadeia de suprimentos, manufatura, interfaces com clientes, modelo de gestão financeira e proposta de valor ao mercado. Por outro lado, ZHANG et al. (2024) destaca que práticas de produção mais limpa existentes no setor industrial de países em desenvolvimento não têm impacto significativo na ecoeficiência, uma vez que o nível de maturidade ainda não é ideal, enquanto a produção em circuito fechado, pelo contrário, mostra um impacto significativo na ecoeficiência, tanto diretamente como através da mediação das inovações de produtos e processos. Seja por serem esforços orientados por custos ou por regime de operação, a adoção de um mecanismo de inovação facilita o regime de produção mais ecoeficiente em setores industriais.

De modo geral, o que as referências da literatura apresentam é que é necessária a quantificação de aspectos ambientais e de economia circular a fim de que se possa avançar como sociedade rumo a um regime industrial com produtos e processos mais limpos, de menor impacto ambiental e mais ecoeficientes, num contexto aliado a viabilidade econômica das empresas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são elaboradas a metodologia e a modelagem da pesquisa.

De acordo com VERGARA (2016), as pesquisas podem ser caracterizadas quanto aos fins e aos meios. Concernente aos fins a pesquisa será exploratória e descritiva e, em relação aos meios, será um estudo de caso. MARTINS (2008) e GIL (2009) indicam que o propósito de estudos de caso descritivos é possibilitar e ampliar a descrição do fenômeno em relação ao seu contexto. Esta pesquisa estuda uma investigação empírica, que analisa fenômenos dentro de seu contexto real, na qual o pesquisador não tem controle sobre as variáveis e eventos. Assim, busca-se entender e interpretar a complexidade do caso concreto. Para tanto, a coleta de dados é de importância primária. A pesquisa é de natureza aplicada, com uma abordagem quantitativa, empregando processo de raciocínio dedutivo, com investigação dedutiva e explicativa. Os instrumentos de pesquisa são baseados num estudo de caso de uma empresa multinacional, através de pesquisa documental, estudo de campo, pesquisa-ação e modelagem.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Conforme sumarizado no Quadro 3, a pesquisa é de natureza aplicada devido a seus fins práticos na modelagem e ações subsequentes referentes a tomada de decisão que pode ser feita em função do trabalho em questão. A abordagem é de natureza quantitativa, adotando os dados fornecidos pelas plantas, centro de conversão e departamentos de compras e logística da empresa do estudo de caso. A pesquisa também é de cunho dedutivo, partindo dos dados de campo, retrato da realidade, a fim de prover auxílio à tomada de decisão (GIL, 2009). Também, a pesquisa tem natureza investigativa explicativa devido a modelar os dados de campo a fim de obter os resultados de interesse do estudo.

QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA.

Natureza da Pesquisa	Aplicada
Fins	Exploratório Descritivo
Abordagem	Quantitativa
Meios	Estudo de Caso
Processo de Raciocínio	Dedutivo
Tipo de Investigação	Pesquisa Explicativa
Instrumentos	Pesquisa documental, estudo de campo, pesquisa-ação

FONTE: O autor (2024).

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

O roteiro da pesquisa seguirá o caminho descrito em estágios na Figura 17.

O primeiro estágio da pesquisa compreende a especificação do problema, e já foi executado e apresentado no Capítulo 1.

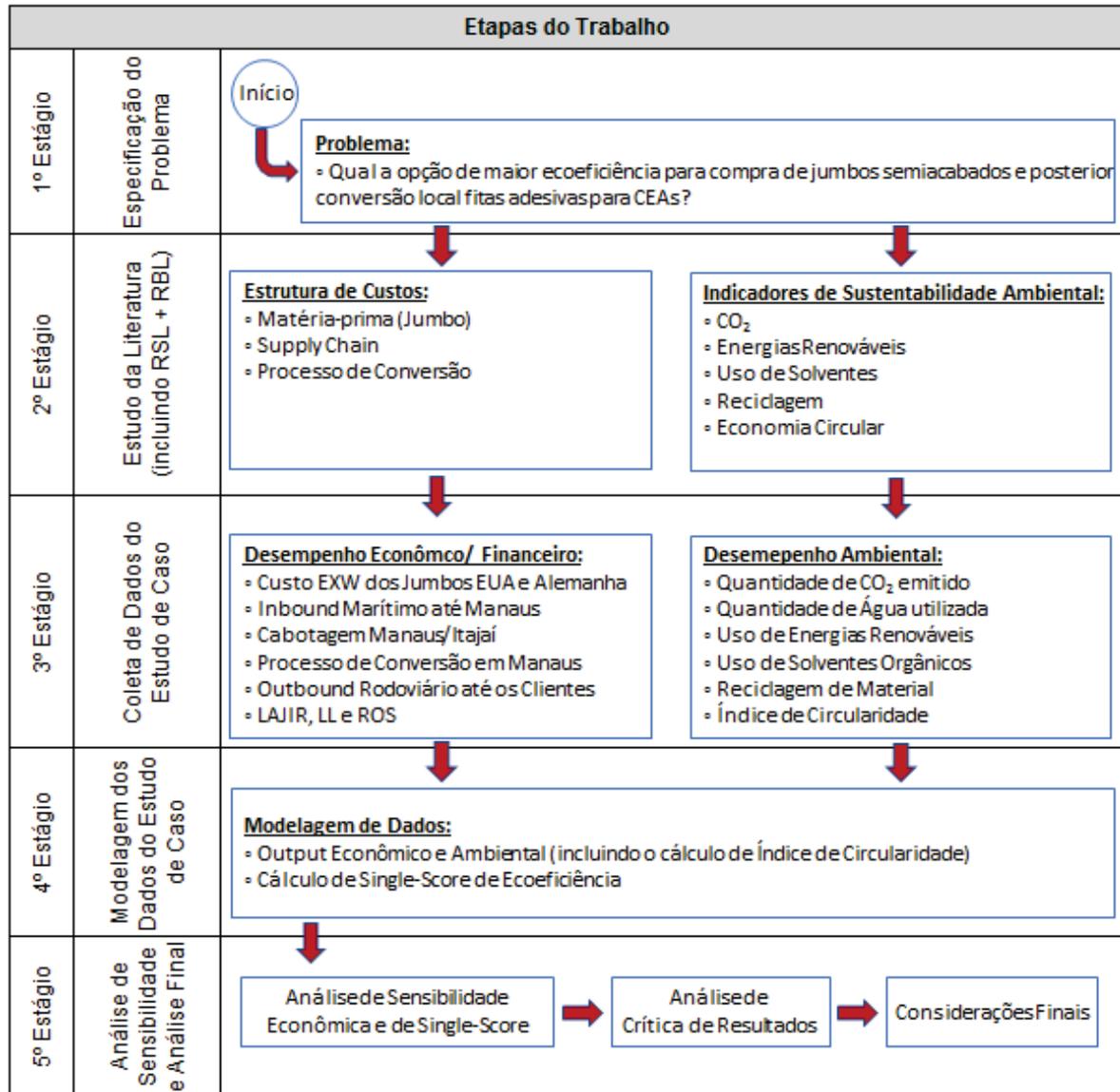
O segundo estágio compreende o estudo da literatura, e foi parcialmente apresentado no Capítulo 2, à exceção dos resultados de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que tem sua metodologia descrita na seção 3.3 e resultados no Capítulo 4.

O terceiro estágio é referente à coleta de dados. No âmbito de desempenho econômico, tem sua metodologia apresentada nas seções 3.4 (produtos do estudo de caso) e 3.5 (coleta de dados econômicos). No âmbito de desempenho ambiental, o terceiro estágio tem sua metodologia apresentada nas seções 3.4 (produtos do estudo de caso) e 3.7 (aspectos ambientais pertinentes à indústria de fitas adesivas e economia circular).

O quarto estágio compreende a modelagem dos dados. No âmbito de desempenho econômico, a modelagem tem sua metodologia apresentada na seção 3.6 (modelagem dos dados econômicos) e resultados apresentados na seção 5.1. No âmbito de desempenho ambiental, a modelagem tem sua metodologia apresentada na seção 3.7.1 (modelagem do índice de circularidade) e resultados apresentados na seção 5.2. A modelagem de single-score tem metodologia apresentada na seção 3.8 e resultados na seção 5.3.

O quinto estágio da pesquisa compreende a análise de sensibilidade. Tem sua metodologia apresentada na seção 3.9 e resultados no Capítulo 6.

FIGURA 17 – ETAPAS DO TRABALHO.



FONTE: O autor (2024).

3.3 PROTOCOLO DE RSL

A seguir segue descrito o protocolo utilizado para a revisão sistemática da literatura.

3.3.1 Palavras-chave e operadores booleanos das *strings* de pesquisa

- “*adhesive tapes*”
- “*adhesive tapes*” AND “*Life Cycle Cost*”
- “*adhesive tapes*” AND “*wire harnessing*”
- “*adhesive tapes*” AND “*circular economy*”

- *“adhesive tapes” AND automotive*
- *“adhesive tapes” AND circularity*
- *“adhesive tapes” AND cost*
- *“adhesive tapes” AND lcc*
- *“adhesive tapes” AND logistics*
- *“adhesive tapes” AND production*
- *“adhesive tapes” AND sustainability*
- *“pressure sensitive” AND “Life Cycle Cost”*
- *“pressure sensitive” AND “wire harnessing”*
- *“pressure sensitive” AND “circular economy”*
- *“pressure sensitive” AND automotive*
- *“pressure sensitive” AND circularity*
- *“pressure sensitive” AND cost*
- *“pressure sensitive” AND lcc*
- *“pressure sensitive” AND logistics*
- *“pressure sensitive” AND production*
- *“pressure sensitive” AND sustainability*
- *“wire harnessing”*
- *“wire harnessing” AND “Life Cycle Cost”*
- *“wire harnessing” AND lcc*
- *automotive AND “Life Cycle Cost”*
- *automotive AND lcc*
- *logistics AND circularity*

3.3.2 Período de avaliação

- 10 anos (2012-2022)

3.3.3 Bases de dados

- *Science Direct*
- *Web of Science*

3.3.4 Etapas da RSL

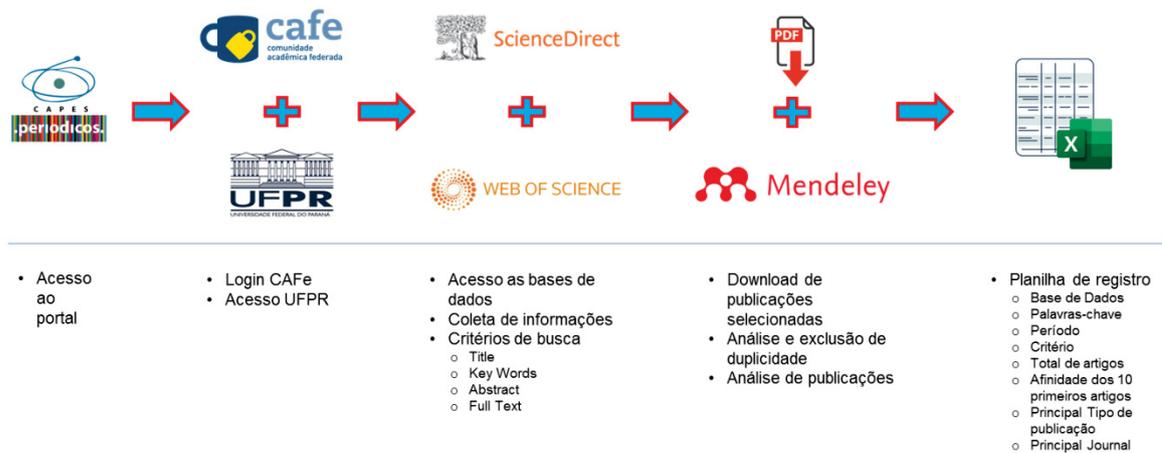
- Coleta de informações
- Análise e exclusão de duplicidade (via *software Mendeley Desktop*)
- Avaliação de disponibilidade do conteúdo selecionado
- Seleção de artigos em idiomas específicos (nesse caso em inglês)
- Critérios de exclusão na análise:
 - *Title, Key Words & Abstract*
 - *Full Text*

3.3.5 Passo-a-passo

- Acessar:
<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>
- Acessar o login "CAFe" com as credenciais UFPR de acesso
- Entrar nas bases de dados (*Science Direct* e *Web of Science*)
- Realizar as buscas conforme os critérios estabelecidos
- Avaliar os primeiros 10 artigos com relação à afinidade com o tema da pesquisa
- Elaborar planilha de registro em Excel:
 - Base de Dados
 - Palavras-chave
 - Período
 - Critério
 - Total de Artigos
 - Afinidade dos 10 primeiros artigos com o tema da pesquisa
 - Principal Tipo
 - Principal *Journal*

Na Figura 18 apresenta-se o passo-a-passo para tabulação de dados para RBL e RSL.

FIGURA 18 – PASSO-A-PASSO PARA REVISÃO DA LITERATURA.



FONTE: o Autor (2024).

Os resultados obtidos foram usados como subsídio para a seleção dos principais artigos e materiais que embasarão o estudo de caso. Para cada *string* de pesquisa foram considerados os 10 primeiros artigos apresentados nas bases de pesquisa. A RSL fornece detalhes quanto ao conteúdo pesquisado em si de forma a subsidiar a pesquisa, o atingimento dos objetivos específicos e do objetivo geral.

3.4 PRODUTOS DO ESTUDO DE CASO

No Quadro 4 seguem as características dos produtos, também conforme LV-312, que são avaliados no estudo de caso deste estudo. O produto A aplica-se a região do habitáculo do veículo, visando maior conforto acústico aos ocupantes da cabine de passageiros, enquanto o produto B destina-se a CEAs presentes na região do motor dos automóveis, visando robustez e resistência a temperatura, abrasão e intempéries.

QUADRO 4 – PRODUTOS DO ESTUDO DE CASO.

Produto		A	B
Plantas de Produção dos Jumbos		EUA / Alemanha	EUA / Alemanha
Dados do Produto	Cor	Preto	Preto
	Material do dorso	Não-tecido de PET	Tecido de PET
	Tipo de adesivo	Borracha base Solvente ou Hotmelt	Acrílico base Água
	<i>Release</i>	Mecânico	Mecânico
	Resistência à temperatura (°C/3.000h)	105	150
	Classe de atenuação acústica	C	A
	Espessura total (µm)	250	260
Requisitos da Aplicação	Resistência a temperatura (°C)	105	≥125
	Classe de temperatura	T2	T3
	Flexibilidade	Média	Média
	Proteção a abrasão	Básica	Alta
	Atenuação de ruídos	Média	Alta
	Rasgável a mão	Sim	Não

FONTE: O autor (2024).

3.5 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS DA FERRAMENTA

As variáveis definidas para análise econômica foram selecionadas considerando as informações operacionais reais da cadeia de fornecimento da indústria de fitas adesivas, conforme coletadas em campo no estudo de caso. Por exemplo, no caso das variáveis fiscais, essas são os componentes e cálculos previstos na Legislação vigente; no caso das variáveis logísticas, essas compreendem os componentes e cálculos da operação de importação, armazenagem, cabotagem e expedição reais da operação industrial e assim por diante. No Quadro 5 seguem as variáveis definidas para compor a ferramenta em desenvolvimento no âmbito da avaliação de desempenho econômico.

QUADRO 5 – MAPA DE VARIÁVEIS FINANCEIRAS.

Área	Variável	Notas
Fiscal	C.Cofins.I	Crédito do Financiamento da Seguridade Social na Importação
Fiscal	C.ICMS.I	Crédito do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Importação
Fiscal	C.ICMS.V	Crédito Estímulo do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Venda
Fiscal	C.IPI.I	Crédito do Imposto sobre Produtos Industrializados do Produto na Importação

FONTE: O autor (2024).

QUADRO 5 – MAPA DE VARIÁVEIS FINANCEIRAS (cont.).

Área	Variável	Notas
Fiscal	Cofins.I	Financiamento da Seguridade Social na Importação
Fiscal	Cofins.V	Financiamento da Seguridade Social na Venda
Fiscal	CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
Fiscal	C.PIS.I	Crédito do Programa de Integração Social na Importação
Fiscal	ICMS.C	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Cabotagem
Fiscal	ICMS.I	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Importação
Fiscal	ICMS.V	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços na Venda
Fiscal	li,j,z	Custos relativos a impostos do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Fiscal	IIci,j,z	Imposto de Importação do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z na cabotagem/saída de Manaus
Fiscal	Ilei	Imposto de Importação do Produto i na importação/entrada
Fiscal	IPI.I	Imposto sobre Produtos Industrializados do Produto na Importação
Fiscal	IPI.V	Imposto sobre Produtos Industrializados do Produto na Venda
Fiscal	IRPJ	Imposto sobre a Renda Pessoa Jurídica
Fiscal	PIS.I	Programa de Integração Social na Importação
Fiscal	PIS.V	Programa de Integração Social na Venda
Fiscal	SiscSi,j	Taxas Siscomex + Suframa no porto de chegada do produto i produzido na planta j
Logística	ADVi,j,z	Taxa cobrada dentro da tabela de fretes que representa o custo do seguro da carga na cabotagem do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Logística	AEi	Custo de armazenagem do produto i no Entrepasto Fiscal em Itajaí/SC
Logística	AFRmi,j	Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante de destino do produto i produzido na planta j
Logística	Ali	Custo de armazenagem do produto i no centro de conversão de Manaus/AM
Logística	BAF.Ci,j	Bunker Additional Fuel; Taxa extra do armador para movimentar o container no terminal de origem do produto i produzido na planta j na cabotagem
Logística	BAF.Ii,j	Bunker Additional Fuel; Taxa extra do armador para movimentar o container no terminal de origem do produto i produzido na planta j na importação
Logística	CFeei,j	Collect Fee; taxa de cobrança recolhida do importador para cobrir despesas de remessas de valores para o exterior no porto de chegada do produto i a partir da planta j
Logística	CFOBi,j	Custos FOB no porto de origem do produto i produzido na planta j
Logística	Ci	Custo de cabotagem do produto i de Manaus/AM até Itajaí/SC
Logística	DCTi,j,z	Descarte do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Logística	DDi,j	Custo de desembarço e despachante no destino do produto i produzido na planta j
Logística	Desc.i,j	Custo de desconsolidação no porto de chegada do produto i a partir da planta j
Logística	DFeei,j	Taxa de entrega dos documentos do embarque cobrada pela companhia marítima no porto de chegada do produto i a partir da planta j
Logística	DOi,j	Custo de desembarço na origem do produto i produzido na planta j
Logística	EADli,j	Taxa de Estação Aduaneira do Interior para controle alfandegário no destino do produto i produzido na planta j
Logística	FCi,j,z	Frete interno de cabotagem do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z

FONTE: O autor (2024).

QUADRO 5 – MAPA DE VARIÁVEIS FINANCEIRAS (cont.).

Área	Variável	Notas
Logística	FDi,j	Frete interno no destino do produto i produzido na planta j
Logística	FOi,j	Frete interno na origem do produto i produzido na planta j
Logística	ICi,j	Custo Total da importação do produto i produzido na planta j
Logística	IDi,j	Seguro de carga interno no destino do produto i produzido na planta j
Logística	IDI,j,z	Seguro de carga interno na cabotagem do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Logística	Plt.j.Ctnr.	Quantidade de pallets da planta j por container 40ft.
Logística	PUi,j	Custo de pick-up, precarriage do produto i produzido na planta j
Logística	Q.Ctnr.i,j	Quantidade de produto por container do produto i produzido na planta j
Logística	Q.Plt.i,j	Quantidade de produto por pallet do produto i produzido na planta j
Logística	THCDi,j	Terminal Handling Charge; Taxa de movimentação no terminal de destino do produto i produzido na planta j
Logística	THCOi,j	Terminal Handling Charge; Taxa de movimentação no terminal de origem do produto i produzido na planta j
Logística	Tinbound_i,j	Custo do transporte inbound; importação do jumbo do produto i produzido na planta j até Manaus/AM
Logística	Toutbound_i	Custo do transporte outbound; entrega do produto i até os clientes via frete rodoviário
Logística	TPITJi,j,z	Taxa portuária de Itajaí na chegada da cabotagem para o produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Logística	TPMAOi,j,z	Taxa portuária de Manaus na saída da cabotagem para o produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Logística	VFi,j	Valor Final da importação do produto i produzido na planta j
Comercial	CPVi,j,z	Custo do Produto Vendido i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	DOP	Despesas Operacionais
Macro	ExRti,j	Taxa de câmbio da moeda de origem do produto i produzido na planta j contra o Real
Macro	LAJIRi,j,z	Lucro Antes dos Juros e Imposto de Renda do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	LLi,j,z	Lucro Líquido do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	MBi,j,z	Margem Bruta do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	MLi,j,z	Margem Líquida do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	PVBi,j,z	Preço de Venda Bruto do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	PVLi,j,z	Preço de Venda Líquido do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	RBi,j,z	Receita Bruta das vendas do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	RLi,j,z	Receita Líquida das vendas do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Macro	ROSi,j,z	Retorno Sobre Vendas das vendas do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z
Produção	DGFi,z	Despesas Gerais de Fabricação do produto i convertido no processo z
Produção	i	Índice que denota o produto A ou B
Produção	j	Índice que denota planta da Alemanha ou EUA
Produção	Ji,j	Custo Ex-Works do Jumbo do produto i produzido na planta j
Produção	MODi,z	Custo de mão-de-obra do produto i convertido no processo z

FONTE: O autor (2024).

QUADRO 5 – MAPA DE VARIÁVEIS FINANCEIRAS (cont.).

Área	Variável	Notas
Produção	P _{i,z}	Custo fabril do produto i no processo de conversão z
Produção	PKG _i	Custo unitário da embalagem do produto i
Produção	SCP _{i,z}	Custo de desperdício do produto i convertido no processo z
Produção	TBT _{i,z}	Custo do tubete do produto i convertido no processo z
Produção	z	Índice que denota processo de LW+LS ou então SR

FONTE: O autor (2024).

3.6 MODELAGEM DOS DADOS FINANCEIROS DO ESTUDO DE CASO

A modelagem financeira e seu equacionamento matemático levou em conta contabilidade padrão *International Financial Reporting Standards* (IFRS, 2022) e método de custeio conforme Custo Padrão, conforme previsto na Legislação Brasileira (KATO, 2015; LOPES, 2015; CFC, 2013). O equacionamento foi feito considerando os processos operacionais e financeiros reais da cadeia de fornecimento da indústria de fitas adesivas, conforme coletadas em campo no estudo de caso. Os dados, de forma geral, foram modelados em Microsoft Excel e testados para verificar erros ou inconsistências. Devido a segredo industrial, todos os dados financeiros foram coletados, analisados e modelados em unidades financeiras relativas, sem moeda definida. Dessa forma, num contexto de Custo Padrão, os centros de conversão geralmente têm a estrutura de custo de seus produtos composta por:

$$CPV_{i,j,z} = J_{i,j} + T_{inbound_{i,j}} + P_{i,z} + AI_i + C_i + AE_i + T_{outbound_{i,j,z}} \quad (1)$$

Onde:

CPV_{i,j,z} = Custo do Produto Vendido i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z;

J_{i,j} = Custo *Ex-Works* do Jumbo do produto i produzido na planta j;

T_{inbound_{i,j}} = Custo do transporte *inbound*; importação do jumbo do produto i produzido na planta j até Manaus/AM;

P_{i,z} = Custo fabril do produto i no processo de conversão z;

AI_i = Custo de armazenagem do produto i no centro de conversão de Manaus/AM;

C_i = Custo de cabotagem do produto i de Manaus/AM até Itajaí/SC;

AE_i = Custo de armazenagem do produto i no Entrepósito Fiscal em Itajaí/SC;

$T_{outbound_{i,j,z}}$ = Custo do transporte *outbound*; entrega do produto i convertido a partir do jumbo produzido na planta j no processo de conversão z até os clientes via frete rodoviário;

i = índice que denota o produto A ou B;

j = índice que denota planta da Alemanha ou EUA;

z = índice que denota processo de LW+LS ou então SR.

O Custo do Jumbo compreende compra e transporte de matérias-primas até a planta j de produção do jumbo i (p.ex.: monômeros, dorsos, *release coats*, solventes etc.), que usualmente envolvem tópicos de comércio internacional, visto que muitos fornecedores de compostos específicos são escassos no mercado, bem como os custos associados ao processo produtivo (mistura, *coating*, secagem, embalagem do jumbo, mão-de-obra, depreciação de ativos, estrutura fabril, manutenção, despesas gerais de fabricação, margens etc.) (CRISTALDI et al., 2018).

O transporte *inbound* compreende a etapa de transporte do jumbo i produzido na planta j para o centro de conversão em Manaus/AM. O custo de transporte *inbound* compreende gastos com transporte internacional, despachante e desembaraço aduaneiro, impostos de importação etc. Transporte *outbound* compreende o custo de entrega do produto acabado (frete) do local de armazenagem até o cliente final, caso de frete no *Incoterm* CIF (BARUA et al., 2020; WONG et al., 2020; LI et al., 2022; KNOLL et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2014).

O custo de conversão compreende os custos de operação de maquinário, mão-de-obra, depreciação de ativos, estrutura fabril, manutenção, DGF, perdas, embalagens etc. Armazenagem é um componente do custo que pode ser interno da planta (caso não seja empregada armazenagem externa/terceirizada, por exemplo) ou então, caso se terceirize a armazenagem, o custo de transporte e do serviço de armazenagem em terceiro (KATO, 2015; LOPES, 2015; CALVO et al., 2015).

Os impostos incidentes são basicamente os componentes relativos a tributos federais (IPI, PIS, Cofins) e estaduais (ICMS). No Brasil é comum existirem tanto plantas como centros de conversão de fitas adesivas no polo industrial de

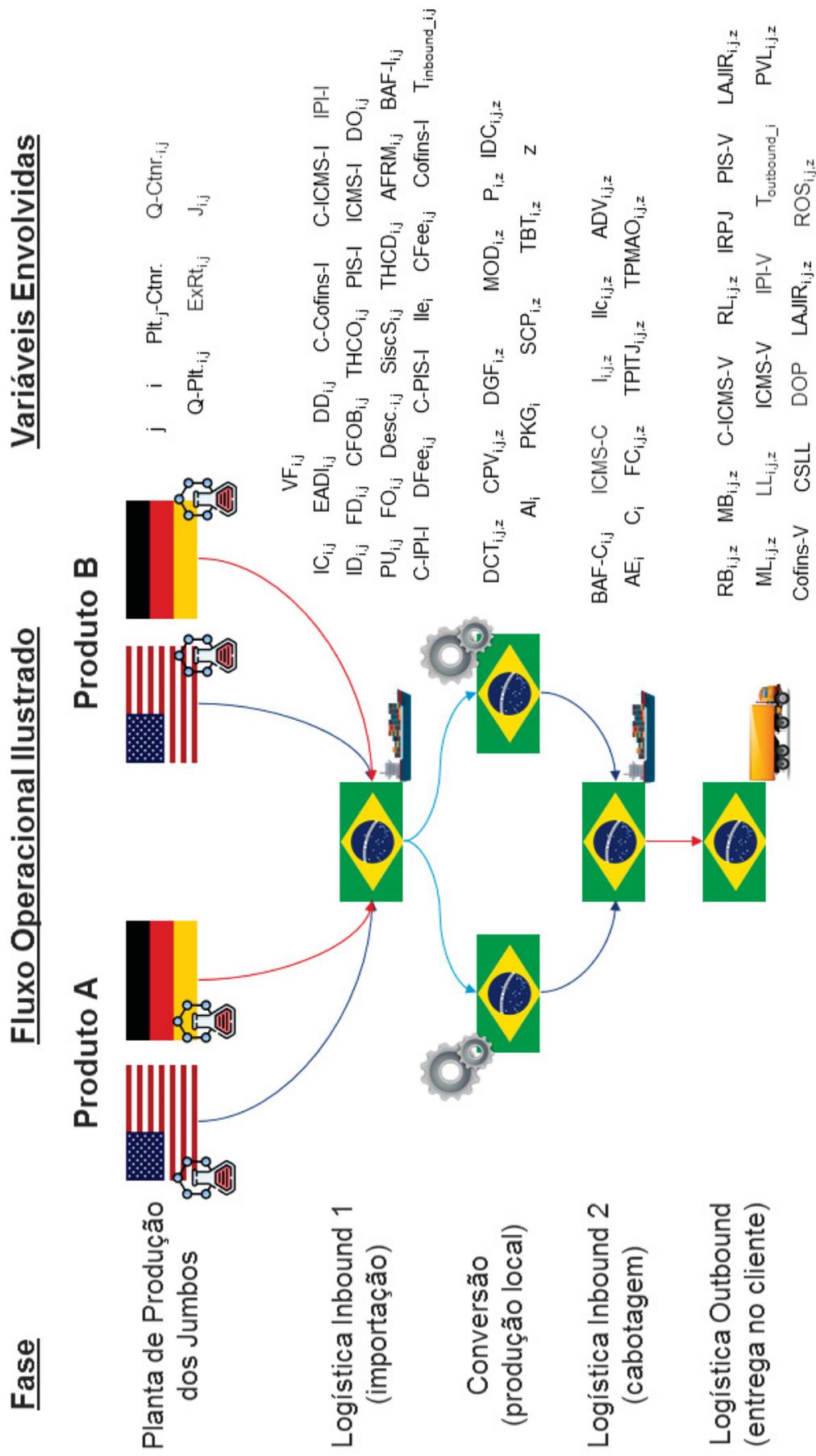
Manaus/AM. A Suframa disponibiliza, para empresas que atuem de acordo com o estabelecido no Processo Produtivo Básico (PPB) da Zona Franca de Manaus (ZFM), os seguintes benefícios fiscais, que fortemente impulsionam empresas deste segmento (SUFRAMA, 2022):

- Redução de até 88% do Imposto de Importação (II) sobre os insumos destinados à industrialização;
- Isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI);
- Alíquota 3,65% do Programa de Integração Social (PIS) e Financiamento da Seguridade Social (Cofins) nas vendas de produtos acabados;
- Redução de 75% do Imposto sobre a Renda Pessoa Jurídica (IRPJ).
- Crédito Estímulo entre 55% a 100% do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

Tais incentivos fiscais subsidiam operações e geram aumento da competitividade comercial das empresas instaladas na ZFM. Margens, Lucro Operacional e Lucro Líquido tendem a ser maiores num centro de conversão instalado em Manaus em relação a uma mesma operação instalada em São Paulo ou Curitiba. No entanto, se por um lado a Zona Franca de Manaus provê diversos benefícios fiscais, as empresas lá instaladas têm de lidar com a intrínseca complexidade logística de lá produzir e entregar seus produtos em clientes de mercado B2B localizados majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. O que viabiliza este tipo de operação é que os benefícios fiscais compensam os gastos extras normalmente compostos de cabotagem e/ou frete rodoviário, armazenagem em entrepostos aduaneiros remotos da Zona Franca de Manaus em outras regiões do Brasil e aumento de estoque devido aos prazos dilatados de transporte (MAGALHÃES et al., 2014). Na Figura 19 apresenta-se, de forma gráfica, a distribuição de variáveis estudadas.

O custo *Ex-Works* do Jumbo ($J_{i,j}$) do produto i produzido na planta j será fornecido diretamente pelas plantas.

FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DA OPERAÇÃO.



FONTE: O autor (2024).

Considerando que:

$$a = J_{i,j} \times Q.Plt_{i,j} \times Plt_j.Ctnr \quad (2)$$

$$b = PU_{i,j} + DO_{i,j} + FO_{i,j} + THCO_{i,j} + BAF.I_{i,j} + Desc.i,j + DFee_{i,j} + CFee_{i,j} \quad (3)$$

$$c = Iie_{i,j} \times (a + b) \quad (4)$$

$$d = (IPI.I - C.IPI.I) + (Cofins.I - C.Cofins.I) + (ICMS.I - C.ICMS.I) + (PIS.I - C.PIS.I) + SiscS_{i,j} \quad (5)$$

$$e = DP_{ij} + ID_{ij} + FD_{ij} + THC.D_{ij} + AFRM_{ij} + EADI_{ij} \quad (6)$$

A equação (2) calcula o montante representado pelos jumbos dentro de um container em importação marítima, multiplicando o preço unitário pela quantidade de material acondicionado dentro do container.

A equação (3) calcula os custos de transporte internacional propriamente ditos, somando variáveis como carregamento da carga na planta, desembaraço aduaneiro na origem (país da planta), frete local no país da planta, taxas de movimentação portuária bem como por parte do armador no porto de origem, taxas de desconsolidação de carga (caso aplicáveis) e taxas relativas a documentação e transferência internacional de numerário.

A equação (4) calcula o valor dos impostos de importação, que é basicamente a multiplicação da alíquota de imposto pelo valor da mercadoria acrescida do frete.

A equação (5) calcula a diferença dos impostos pagos no momento do desembaraço aduaneiro no Brasil e seus posteriores créditos fiscais, acrescida do valor devido a Siscomex/Suframa.

A equação (6) calcula o restante dos custos de importação, a saber: desembaraço local no Brasil, seguros internacionais de carga, custos com frete interno do porto de Manaus até o centro de conversão, taxas de movimentação portuária e da marinha mercante bem como taxas aduaneiras adicionais.

Dessa forma, consolidando os cálculos anteriores, o custo do transporte *inbound* é dado por:

$$T_{Inbound_{i,j}} = a + b + c + d + e \quad (7)$$

O custo fabril ($P_{i,z}$) é composto por material, insumos locais de embalagem, e custos de manufatura (p.ex.: mão-de-obra, utilidades como energia elétrica e ar comprimido, bem como despesas gerais de manufatura), sendo calculado conforme a equação 8:

$$P_{i,z} = TC_i + CP_{i,z} + RM_i \quad (8)$$

Onde:

$P_{i,z}$ = Custo fabril do produto i no processo de conversão z ;

TC_i = Custo da quantidade de fita adesiva i utilizada oriunda do jumbo;

$CP_{i,z}$ = Custo fabricação do produto i no processo de conversão z ;

RM_i = Custo das demais matérias-primas locais utilizadas no produto i , tais como caixas de papelão, sacolas plásticas, rótulos e tubetes.

O custo do material de fita adesiva do jumbo utilizado para cada rolo acabado é calculado pelas equações (9) e (10), onde $J_{i,j}$ é o custo do jumbo e n_{JB} é o número de rolos acabados convertidos do jumbo. n_{JB} é calculado considerando o rendimento dos rolos produzidos em função da largura e do comprimento do jumbo e do rolo acabado. O rendimento em relação à largura é a função piso do quociente entre as larguras do jumbo, $w_{i,RM}$, e do rolo acabado, $w_{i,FG}$. O rendimento em relação ao comprimento é a função piso do quociente entre os comprimentos do jumbo, $l_{i,RM}$, e do rolo acabado, $l_{i,FG}$.

$$TC_i = \frac{J_{i,j}}{n_{JB}} \quad (9)$$

$$n_{JB} = \left\lfloor \frac{w_{i,RM}}{w_{i,FG}} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{l_{i,RM}}{l_{i,FG}} \right\rfloor \quad (10)$$

O custo do processo de conversão, para cada tipo de processo de conversão, é dado pela equação (11), considerando o custo por minuto $M_{i,z}$ de cada máquina utilizada e o tempo de ciclo $t_{i,z}$ medido para cada processo individual. Como os custos do processo são uma informação fundamental para a empresa do estudo de caso, os valores foram fornecidos como dados consolidados, não desagregados

por subcomponentes como mão de obra, energia, depreciação etc., e em unidades relativas (valores absolutos sem moeda definida).

$$CP_{i,z} = \sum_{i=SRVLW+LS} (Mr_{i,z} \times t_{i,z}) \quad (11)$$

O custo das demais matérias-primas é calculado em função do custo C_i do tubete utilizado no processo de conversão e custo dos materiais de embalagem como a caixa de papelão CT, os sacos plásticos para embalagens internas PB e as etiquetas L, conforme apresentado nas equações (12) a (17). O custo Co_i do tubete por rolo acabado é o quociente do custo C do tubete de log usado no processo LW e o número de rolos acabados n_c cortados por log no processo LS. n_c é a função piso do quociente entre as larguras do jumbo (que é a mesma largura do log), w_{i_RM} , e do rolo acabado, w_{i_FG} . Para o processo SR os tubetes já são comprados cortados na largura do rolo de produto acabado. Assim, para este tipo de processo de conversão, Co_i é igual ao preço de compra direta do tubete já cortado C e n_c é igual a 1. O custo CT por rolo da caixa é o quociente do custo caixa de papelão SB e o número de rolos contidos por caixa n_{RC} . Dentro de cada caixa há sacos plásticos protetores com quantidades menores de rolos. O custo por rolo desses sacos plásticos de embalagem interna PB é o quociente do custo do saco plástico individual IP pelo número de rolos de produto acabado por sacola plástica n_{PB} . Por último, há o custo das etiquetas das embalagens. Existem etiquetas aplicadas na caixa externa e outras aplicadas em sacos plásticos na embalagem interna. O custo total de etiquetagem L é a soma do custo das etiquetas individuais por caixa L_{CT} e por embalagem interna, ou saco plástico, L_{PB} multiplicados pelas respectivas quantidades de etiquetas por caixa n_{CT} e por sacola plástica n_{PB} .

$$RM_i = Co_i + CT + PB + L \quad (12)$$

$$Co_i = \frac{C}{n_c} \quad (13)$$

$$n_c = \left\lfloor \frac{w_{i_RM}}{w_{i_FG}} \right\rfloor \quad (14)$$

$$CT = \frac{SB}{n_{RC}} \quad (15)$$

$$PB = \frac{IP}{n_{PB}} \quad (16)$$

$$L = \frac{L_{CT} \times n_{CT} + L_{PB} \times n_{PB}}{n_{RC}} \quad (17)$$

O cálculo final de $P_{i,z}$ do rolo acabado convertido por um dado processo $i \forall i = SR \vee LW+LS$, é, então, dado pela equação (18):

$$P_{i,z} = \frac{J_{i,j}}{\left[\frac{w_{i,RM}}{w_{i,FG}}\right] \times \left[\frac{l_{i,RM}}{l_{i,FG}}\right]} + \sum_{i,z} (Mr_{i,z} \times t_{i,z}) + \frac{C}{\left[\frac{w_{i,RM}}{w_{i,FG}}\right]} + \frac{SB}{n_{RC}} + \frac{IP}{n_{PB}} + \frac{L_{CT} \times n_{CT} + L_{PB} \times n_{PB}}{n_{RC}} \quad (18)$$

O custo de armazenagem do produto i no centro de conversão de Manaus/AM (AI_i) é calculado em função do custo interno por posição palete da planta CM_{int} e da quantidade de rolos por posição palete $n_{FG.Plt_i}$, que é função da quantidade de caixas por palete $n_{CT.Plt_i}$ e da quantidade de rolos por caixa $n_{RC,i}$, conforme equação 19:

$$AI_i = \frac{CM_{int}}{n_{CT.Plt_i} \times n_{RC,i}} \quad (19)$$

O custo de cabotagem (C_i) é calculado de forma semelhante ao custo de transporte *inbound*. Considerando que:

$$a' = P_{i,j} \times Q.Plt_{i,j}' \times Plt_j.Ctnr' \quad (20)$$

$$b' = FC_{i,j,z} + TPMAO_{i,j,z} + TPITJ_{i,j,z} + ADV_{i,j,z} + BAF.C_{i,j} \quad (21)$$

$$c' = Hc_{i,j,z} \times (a' + b') \quad (22)$$

Dessa forma, consolidando os cálculos anteriores, o custo do transporte por cabotagem do centro de conversão em Manaus até o armazém/ entreposto fiscal em Itajaí é dado por:

$$C_i = a' + b' + c' \quad (23)$$

O custo de armazenagem do produto i no armazém de Itajaí/SC (AE_i) foi coletado pronto com a empresa do estudo de caso. Dessa forma, o custo do produto posto no armazém de Itajaí consiste na soma do custo do produto cabotado mais o custo de armazenagem.

O custo relativo do frete para entrega dos produtos nos clientes não é trivial de ser avaliado. Devido à grande variedade de clientes em diversas regiões do Brasil, o valor de $T_{\text{outbound},i,j,z}$ foi coletado diretamente com a empresa do estudo de caso. O preço de venda sem impostos é calculado considerando o $CPV_{i,j,z}$ e a Margem Bruta ($MB_{i,j,z}$) desejada para o negócio, conforme equação (24):

$$PVL_{i,j,z} = \frac{CPV_{i,j,z}}{1 - MB_{i,j,z}} \quad (24)$$

Os impostos, que compõe o preço de venda do produto foram calculados conforme legislação brasileira:

$$PVB_{i,j,z} = \frac{PVL_{i,j,z}}{(1 - ICMS.V - PIS.V - COFINS.V)} \times (1 + IPI.V) \quad (25)$$

Considerando um cenário comum, onde clientes desse tipo de produto são indústrias de grande porte, comprando material como insumo para industrialização em regime tributário de lucro real, tem-se $ICMS.V=12\%$, $PIS.V = 0,65\%$, $COFINS.V = 3\%$ e $IPI.V = 0\%$ (SUFRAMA, 2022). Assim, para um $PVL_{i,j,z}$ de base unitária, ao substituir os valores dos impostos na equação (14) tem-se:

$$PVB_{i,j,z} = \frac{1}{(1 - 0,12 - 0,0065 - 0,03)} \times (1 + 0) = \frac{1}{0,8435} = 1,1855 \quad (27)$$

Dessa forma, o valor de $l_{i,j,z}$ representa um acréscimo de 18,55% no preço líquido de um produto i qualquer, seja ele A ou B.

3.6.1 Demonstração do Resultado do Exercício

Como último aspecto da avaliação financeira, todos os cenários foram avaliados num formato de Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) a fim de ter-se uma visão completa da modelagem financeira e contábil.

A DRE é um resumo das operações financeiras de uma empresa em um determinado período de tempo, normalmente 12 meses, para deixar claro se ela teve lucro ou prejuízo. Esse relatório confronta os dados de receitas, custos e

despesas de um negócio, mostrando o resultado líquido do seu desempenho e detalhando a real situação operacional da empresa. A DRE está entre os relatórios mais importantes para a gestão contábil, pois permite analisar a situação contábil e a auxilia no direcionamento para planos futuros (TORRES, 2022).

Conforme Lei 6.404/1976, Artigo 187 (e sua modificação pela Lei 11.638/2007), os dados detalhados na demonstração devem ser:

- A receita bruta das vendas e serviços prestados ($RB_{i,j,z}$), incluindo as deduções das vendas, os abatimentos e impostos (IPI.V, ICMS.V, PIS.V e COFINS.V);
- A receita líquida das vendas e serviços ($RL_{i,j,z}$), com o custo dos produtos e serviços comercializados ($CPV_{i,j,z}$), e o lucro bruto;
- As despesas com as vendas, as despesas financeiras deduzidas das receitas, e as despesas operacionais, administrativas e gerais (DOP);
- O lucro ou prejuízo operacional, além de outras receitas e despesas ($LAJIR_{i,j,z}$, C-ICMS-V);
- O resultado do exercício antes do Imposto de Renda e a Contribuição Social Sobre o Lucro, bem como provisão para esses impostos (IRPJ, CSLL);
- Os valores relacionados às debêntures, aos funcionários, administradores e outros beneficiários, mesmo que na forma de instrumentos financeiros, às instituições, aos fundos de assistência ou à previdência de empregados – os quais não são classificados como despesas. Nesse estudo não serão considerados esses componentes;
- O lucro ou prejuízo líquido do exercício ($LL_{i,j,z}$).

Também devido a temas de segredo industrial, os valores de $MB_{i,j,z}$ e de DOP foram informados de maneira estimada, genérica e não-específica pela empresa do estudo de caso.

3.7 ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS

Os dados relativos a práticas concernentes a sustentabilidade ambiental foram coletados todos diretamente com a empresa do estudo de caso. Foram

avaliados os seguintes tópicos relativos à sustentabilidade no contexto do problema estudado, tanto para o produto A quanto para o produto B:

- Emissão de CO₂ conforme escopos 1 (emissões diretas de recursos próprios e controlados pela organização, lançadas na atmosfera devido a atividade direta da empresa), 2 (emissões liberadas na atmosfera provenientes do consumo de utilidades) e 3 (emissões indiretas, ligadas às operações logísticas da empresa);
- Uso de energias renováveis empregadas na produção;
- Gasto energético empregado na produção;
- Uso de solventes orgânicos na produção;
- Reciclagem de Resíduos de produto produzido na planta;

As variáveis de análise de desempenho ambiental foram as principais variáveis encontradas nas indústrias de fitas adesivas, conforme Quadro 2, do item 2.4 do trabalho. Para esta indústria estas são as variáveis relevantes, pois são intrínsecas aos insumos, processo produtivo e operações da indústria de fitas adesivas. Produtos que sejam produzidos com adesivo base água, por exemplo, ao terem seu processo produtivo otimizado passariam a ter menor consumo deste recurso. Certificações de qualidade e meio ambiente (p.ex.: ISO 9001:2015, IATF 16949:2016 e ISO 14001: 2015) são necessárias e requisitos dos clientes automotivos para que empresas possam fornecer seus produtos nesse segmento. O uso de energias de origem renovável, minimização de emissões de CO₂ equivalente, da geração de resíduos, maior reciclagem e investimentos em produtos aliados a economia circular andam em linha com iniciativas da indústria química em geral (GROSS et al., 2021; BURNETT e HANSEN, 2008; GARCÍA-SERNA, PÉREZ-BARRIGÓN e COCERO, 2007; SILVESTRI et al., 2021; LOZANO et al., 2016; LOPEZ, BASTEIN e TUKKER, 2019; METZGER e EISSEN, 2004).

Os dados de desempenho ambiental coletados diretamente com a empresa do estudo de caso foram informados a nível de planta produtiva, de forma que são computados como valores médio por m² de fita adesiva produzida na base de cálculo da ferramenta.

3.7.1 Índice de Circularidade

A análise do Índice de Circularidade ($MCI_{i,j,z}$), para cada produto i , produzido na planta j e convertido em Manaus no processo de conversão z , foi feita conforme a ferramenta *Material Circularity Indicator*, disponibilizada pela ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019). A escolha do $MCI_{i,j,z}$ foi feita considerando-se que esta é uma ferramenta já consolidada e empregada na literatura (MACENO et al., 2022).

O MCI para um produto mede até que ponto o fluxo linear foi minimizado e o fluxo circular maximizado para seus materiais componentes, bem como por quanto tempo e intensivamente ele é usado em comparação com um produto similar da média da indústria. É calculado a partir de uma combinação de três características do produto: a massa V de matéria-prima virgem usada na fabricação, a massa W de resíduos irrecuperáveis que são atribuídos ao produto e um fator de utilidade X que representa o período de tempo e a intensidade do uso do produto, conforme graficamente representado na Figura 20.

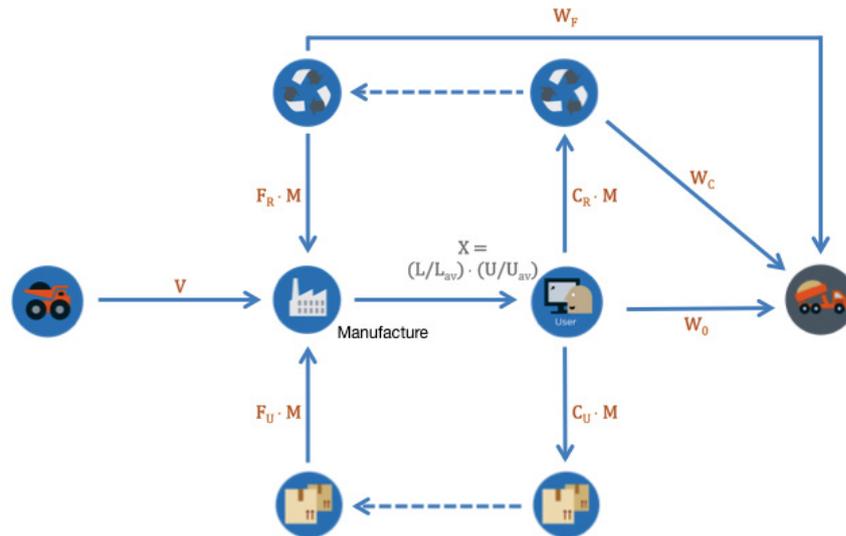
Considerando-se um produto de massa total M , na qual F_R represente a fração mássica de alimentação contendo material reciclado, F_U represente a fração mássica de alimentação contendo material reutilizado e F_S represente a fração mássica de alimentação contendo material biológico originado de fontes renováveis, a massa de material virgem V usado como matéria-prima é dada pela equação 28.

$$V = M(1 - F_R - F_U - F_S) \quad (28)$$

Considerando-se que C_R represente a fração mássica do produto acabado que será coletada para reciclagem após seu uso, C_U represente a fração mássica do produto acabado que será coletada para reuso após seu uso, C_C represente a fração mássica de material biológico do produto acabado que será coletada para destinação a compostagem após seu uso e C_E represente a fração mássica de material biológico do produto acabado que será coletada para recuperação energética após seu uso, a massa W_0 de material a ser descartado em aterros e/ou enviado a geração de energia é dada por:

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U - C_C - C_E) \quad (29)$$

FIGURA 20 – FLUXOS DE MATERIAIS.



FONTE: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019).

Para casos onde houver recuperação de energia, o valor de C_E é calculado considerando-se a energia recuperada E_R no processo de recuperação de energia, o Poder Calorífico Superior (HHV), a massa de material biológico utilizável (M_B) e o conteúdo de carbono B_C no material biológico considerado. Dessa forma tem-se que:

$$C_E = \left(\frac{E_R}{HHV \times M_B} \right) B_C \quad (30)$$

Considerando E_C como a eficiência do processo de reciclagem do produto ao fim de sua vida útil, temos que a massa W_C de resíduo gerado no processo de reciclagem é dada por:

$$W_C = M(1 - E_C)C_R \quad (31)$$

Considerando E_F como a eficiência do processo de reciclagem usado para geração matérias-primas, tem-se que a massa W_F gerada no processo de reciclagem para geração de matéria-prima é dada por:

$$W_F = M \left(\frac{1 - E_F}{E_F} \right) F_R \quad (32)$$

A massa total W de resíduos não recuperáveis gerados é então dada por:

$$W = W_0 + W_F + W_C \quad (33)$$

O Índice de Fluxo Linear ($LFI_{i,j,z}$), para cada produto i , produzido na planta j e convertido em Manaus no processo de conversão z , mede a proporção de material que é usado de maneira linear, ou seja, proveniente de materiais virgens e que termina como resíduo irre recuperável. Portanto, o LFI é calculado dividindo a quantidade de material linear pela soma das quantidades de material linear e circular (fluxo de massa total). O índice assume um valor entre 1 e 0, onde 1 é um fluxo completamente linear e 0 um fluxo completamente circular. O índice é calculado da seguinte forma:

$$LFI = \frac{V+W}{2M} \quad (34)$$

É importante notar que $0 \leq V \leq M$ e que $0 \leq W \leq M$, de forma que a massa total na análise é $2M$.

O Fator de Utilidade X tem dois componentes: um relacionado ao tempo de vida e outro a intensidade de uso, em unidades funcionais, do produto. O componente de tempo de vida L/L_{av} representa qualquer redução (ou aumento) na quantidade de resíduos num determinado período de tempo para produtos que têm uma vida útil L mais longa (ou mais curta) do que a média L_{av} na indústria. Se a vida útil de um produto for dobrada, os resíduos gerados e os materiais virgens usados por unidade de tempo pela parte linear do fluxo de um produto são reduzidos pela metade. Da mesma forma, se a vida útil do produto for reduzida pela metade, os resíduos criados e os materiais virgens usados por ano pela parte linear do fluxo de um produto são dobrados. O componente de intensidade de uso U/U_{av} reflete até que ponto um produto é usado em sua capacidade total. U é, em média, o número de unidades funcionais alcançadas durante o uso de um produto, enquanto U_{av} é, em média, o número de unidades funcionais alcançadas durante o uso de um produto de tipo similar na indústria. Aumentar a intensidade de uso de um produto resulta num uso mais eficiente de todos os recursos que seguem um caminho linear no fluxo de material e, portanto, uma melhoria no MCI. O Fator de Utilidade X é então calculado como:

$$X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right)\left(\frac{U}{U_{av}}\right) \quad (35)$$

O Índice de Circularidade de um produto pode agora ser definido considerando o LFI do produto e o Fator de Utilidade X. A equação usada para calcular o MCI de um produto é:

$$MCI = 1 - LFI\left(\frac{0,9}{X}\right) \quad (36)$$

O coeficiente 0,9 adotado como premissa na metodologia assume que o MCI adote, por convenção, o valor 0,1 para um produto totalmente linear (ou seja, LFI=1) cuja utilidade é igual à média da indústria (ou seja, X=1).

3.8 PONDERAÇÃO E SINGLE-SCORE

Uma vez obtidos todos os dados financeiros e de sustentabilidade ambiental, os componentes foram normalizados, equacionados com pesos e somados a fim de conferir um resultado tipo *single-score* ao cenário avaliado, mensurando a ecoeficiência, aliando desempenho financeiro agregado ao desempenho ambiental na pesquisa. O resultado normalizado da categoria ($N\alpha_{i,j,z}$) será ponderado por um peso ($P\alpha_{i,j,z}$).

As categorias a serem avaliadas são compostas por:

- Do ponto de vista de desempenho econômico, o custo do produto vendido $CPV_{i,j,z}$ e, representando a lucratividade da operação, o retorno sobre vendas $ROS_{i,j,z}$;
- Do ponto de vista de desempenho ambiental, o consumo de energia elétrica total em kWh, o percentual de uso de energia elétrica de origem renovável, o total de emissão de CO₂-equivalente (soma das emissões escopos 1, 2 e 3) e o índice de circularidade do cenário avaliado, $MCI_{i,j,z}$.

O somatório dos resultados ponderados ($W\alpha_{i,j,z}$) gerou o *single-score* ($SS_{i,j,z}$) do cenário avaliado, sendo este o índice de ecoeficiência do cenário individualmente avaliado e que servirá para comparativo e suporte na tomada de decisão quanto a fonte de compra e processo produtivo local a serem adotados.

Há variáveis de correlação direta, onde quanto maior o índice melhor, e outras de correlação inversa, onde quanto menor o índice melhor, como apresentado no Quadro 6.

QUADRO 6 – VARIÁVEIS DE CORRELAÇÃO DIRETA E INVERSA.

Variável	Tipo de Correlação
CPV _{i,j,z}	Inversa
ROS _{i,j,z}	Direta
kWh de energia elétrica total	Inversa
% de energia de fontes renováveis	Direta
CO ₂ -eq. emitido total	Inversa
MCI _{i,j,z}	Direta

FONTE: O autor (2024).

Com relação à normalização, tendo-se em vista que está sendo feita uma ferramenta de avaliação de ecoeficiência a ser validada num estudo de caso, será adotada uma normalização interna como critério, o que também é justificado tendo-se em vista a escassez de literatura para comparação externa, conforme os resultados de RBL e RSL.

O cálculo do valor normalizado $N_{\alpha_{i,j,z}}$, para cada parâmetro avaliado é feito dividindo-se o valor encontrado $N_{i,j,z}$ de tal parâmetro num cenário avaliado pelo valor de referência de normalização $R_{\alpha_{i,j,z}}$, adotado para tal parâmetro, conforme equação 37, no caso de variáveis diretas. No caso das variáveis inversas, o cálculo do valor normalizado N_{α} para cada parâmetro avaliado é feito dividindo-se valor de referência de normalização R_{α} adotado pelo valor encontrado para $N_{i,j,z}$, conforme equação 38. Para o custo do produto, será adotado como valor de referência o menor custo possível para cada produto (menor CPV_i). Referente à lucratividade, será adotado como valor de referência o maior valor de (ROS_i). Referente à gestão energética, serão adotados dois valores de referência, o menor consumo total de energia elétrica por unidade de produto acabado bem como a maior % de utilização de energia renovável no processo produtivo. Em relação à emissão de CO₂, o critério de normalização será a menor quantidade de emissão total, somando-se as emissões escopos 1, 2 e 3. Com relação à economia circular, o critério de normalização adotado será o maior índice de circularidade MCI_i possível para cada produto acabado.

$$N_{\alpha_{i,j,z}} = N_{i,j,z} / R_{\alpha} \quad (37)$$

$$N_{\alpha_{i,j,z}} = R_{\alpha} / N_{i,j,z} \quad (38)$$

Com relação à ponderação, esta é calculada multiplicando-se o resultado da categoria normalizada N_{α} diretamente pelo peso P_{α} atribuído a mesma, conforme equação 39.

$$W_{\alpha_{i,j,z}} = N_{\alpha_{i,j,z}} \times P_{\alpha_{i,j,z}} \quad (39)$$

Como cenário base, foram empregados arbitrariamente os seguintes pesos: $CPV_{i,j,z} = 0,25$; $ROS_{i,j,z} = 0,25$; Energia elétrica total = 0,10; % de energia renovável utilizada = 0,10; CO_2 -equivalente emitido total = 0,10; $MCI_{i,j,z} = 0,20$. Nesse cenário, considera-se como ponto central o equilíbrio entre aspectos de desempenho econômico, que pesam 0,50, e aspectos relativos ao desempenho ambiental, que também pesam 0,50 na ponderação geral. Especial ênfase no aspecto ambiental aqui se deu, no cenário base, para economia circular, visto que o $MCI_{i,j,z}$ abriga em sua análise diversos componentes relacionados a materiais, energia, resíduos etc.

Por fim, o resultado final da ferramenta de análise de ecoeficiência se dá pelo *single-score* apresentado na equação 40, onde são agregados os valores ponderados das seis diferentes categorias analisadas previamente para cada cenário.

$$SS_{i,j,z} = \sum_1^{\alpha} W_{\alpha_{i,j,z}} \quad (40)$$

$$SS_{i,j,z} = \left(\frac{R_{\alpha_{CPV_{i,j,z}}}}{N_{CPV_{i,j,z}}} \times P_{\alpha_{CPV_{i,j,z}}} \right) + \left(\frac{N_{ROS_{i,j,z}}}{R_{\alpha_{ROS_{i,j,z}}}} \times P_{\alpha_{ROS_{i,j,z}}} \right) + \left(\frac{R_{\alpha_{kWh_{i,j,z}}}}{N_{kWh_{i,j,z}}} \times P_{\alpha_{kWh_{i,j,z}}} \right) + \left(\frac{N_{\alpha_{\%ER_{i,j,z}}}}{R_{\alpha_{\%ER_{i,j,z}}}} \times P_{\alpha_{\%ER_{i,j,z}}} \right) + \left(\frac{R_{\alpha_{CO2_{i,j,z}}}}{N_{CO2_{i,j,z}}} \times P_{\alpha_{CO2_{i,j,z}}} \right) + \left(\frac{N_{MCI_{i,j,z}}}{R_{\alpha_{MCI_{i,j,z}}}} \times P_{\alpha_{MCI_{i,j,z}}} \right) \quad (41)$$

No cenário ideal o valor de referência é então $SS_{i,j,z} = 1,0000$. Esse valor implicaria que o produto i , com jumbo comprado da planta j e convertido no processo

z teria o menor custo possível, a maior rentabilidade possível, o menor uso de energia elétrica possível e sendo esta com a maior fração de energia oriunda de origem renovável possível, teria o mínimo de emissões de CO₂-equivalente e o maior grau possível de circularidade na cadeia.

3.9 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Foram feitos dois tipos de análise de sensibilidade nesta pesquisa: uma relativa ao custo do produto final $CPV_{i,j,z}$ e outra relativa ao *single-score* $SS_{i,j,z}$.

No âmbito de custos, foi feita uma análise de sensibilidade para compreender como a variação do volume de produção afeta os custos dos produtos. Considerando a modelagem de custos apresentada, os parâmetros relativos ao jumbo e às matérias-primas locais permanecerão constantes. Como a produção horária das máquinas não mudará significativamente para LW+LS quanto para SR, o tempo do ciclo de produção $t_{i,z}$ é constante. O aumento da produção causaria, em teoria, como efeito final uma diluição dos custos fixos, diminuindo assim a taxa de produção $Mr_{i,z}$, o que finalmente diminuiria o custo do processo de conversão $CP_{i,j,z}$ e o custo do produto acabado $CPV_{i,j,z}$ (LOPES, 2015; CHEATHAM e CHEATHAM, 1996; BOONS, 1998). A produção foi simulada em dez faixas de produção consecutivas, incrementais e igualmente distribuídas, numeradas de 1 a 10, onde o cenário de produção atual do centro de conversão está na faixa 3 para fitas crepe e 6 para as fitas de embalagem. Em resumo, para diferentes cenários de produção, a análise de sensibilidade avaliou o quão diferentes os valores de $Mr_{i,z}$, obtidos com a empresa do estudo de caso, afetam $CP_{i,j,z}$ e $CPV_{i,j,z}$. As implicações dos resultados desta avaliação podem apoiar a tomada de decisão sobre qual processo de conversão utilizar para um determinado nível de produção e por quê.

A análise de sensibilidade de *single-score* se deu mediante a variação dos pesos $P\alpha_{i,j,z}$ das categorias a serem agregadas no single-score de ecoeficiência. Variando-se os pesos pode-se simular cenários onde a empresa do estudo de caso estaria em situações onde poderia privilegiar aspectos econômicos ou ambientais na análise de compra e manufatura, bem como, por exemplo, enfatizar algum aspecto ambiental específico, como por exemplo menores emissões de CO₂, maior emprego de energia elétrica renovável ou mesmo minimização de uso de energia elétrica total, ou ainda o máximo de circularidade possível na cadeia. Os diferentes cenários

a serem modelados na análise de sensibilidade de *single-score* seguem então descritos no Quadro 5.

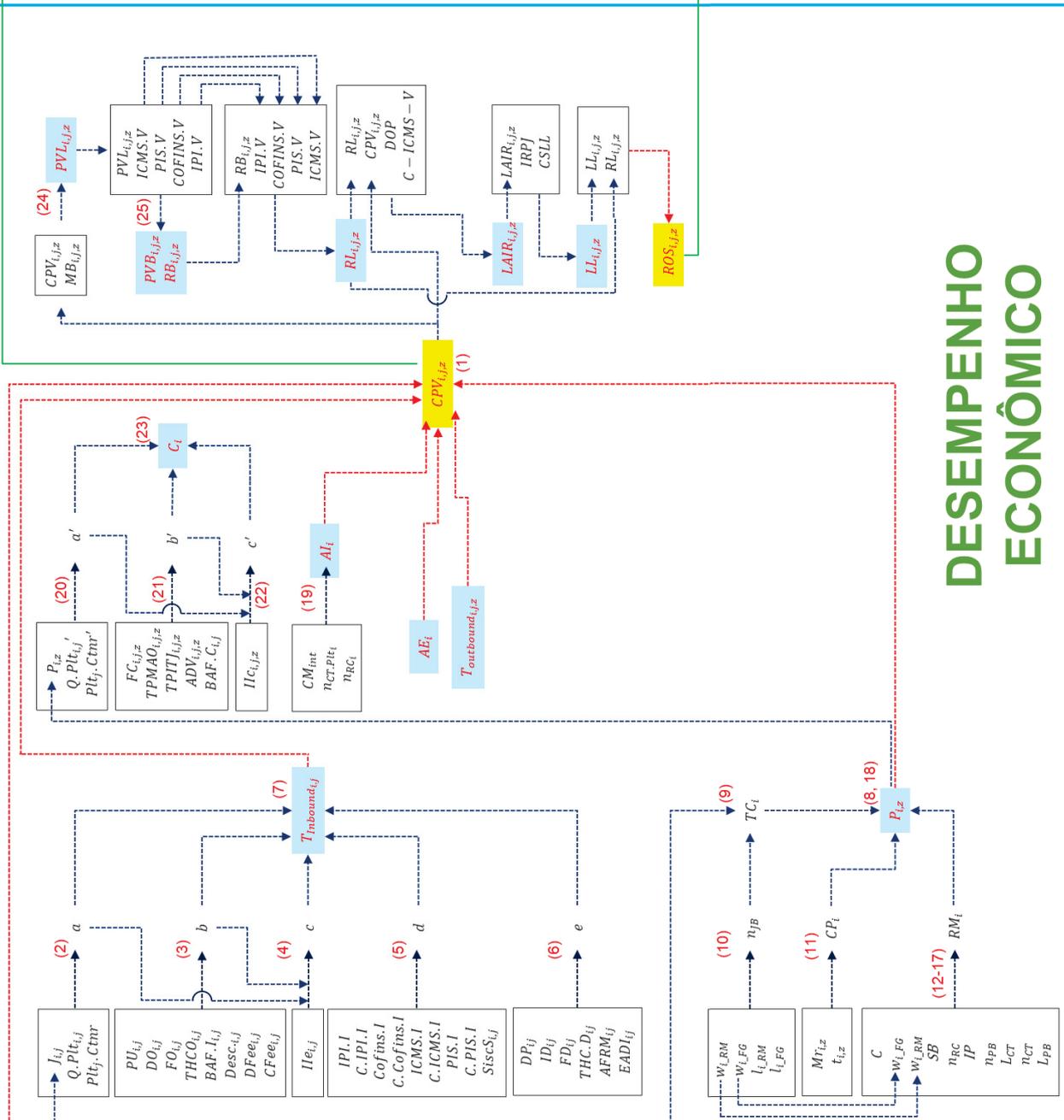
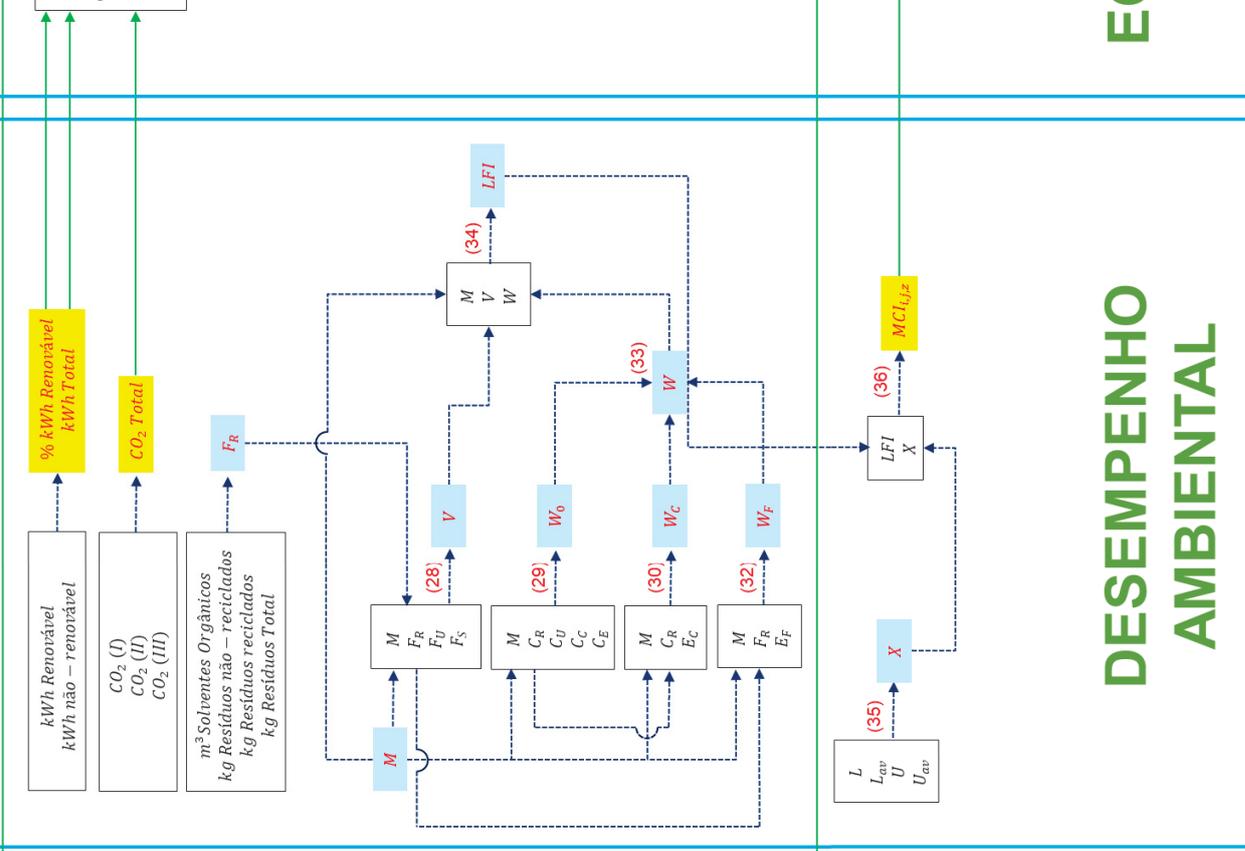
QUADRO 7 – CENÁRIOS PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SINGLE-SCORE.

Cenário	Variável	$P\alpha_{i,j,z}$	Observações
1	$CPV_{i,j,z}$	0,25	Cenário base. Equilíbrio entre focos econômico e ambiental.
	$ROS_{i,j,z}$	0,25	
	kWh de energia elétrica total	0,10	
	% de energia de fontes renováveis	0,10	
	CO ₂ -eq. emitido total	0,10	
	$MCI_{i,j,z}$	0,20	
2	$CPV_{i,j,z}$	0,30	Cenário com foco 60% econômico e 40% ambiental. Foco ambiental ainda em regime crescente, havendo priorização de resultados financeiros em detrimento de sustentabilidade ambiental do negócio.
	$ROS_{i,j,z}$	0,30	
	kWh de energia elétrica total	0,08	
	% de energia de fontes renováveis	0,08	
	CO ₂ -eq. emitido total	0,08	
	$MCI_{i,j,z}$	0,16	
3	$CPV_{i,j,z}$	0,35	Cenário com foco 70% econômico e 30% ambiental. Forte priorização de resultados financeiros em detrimento de sustentabilidade ambiental do negócio. Possivelmente aplicável em casos de ameaça comercial severa de perda de negócios ou então de empresas em início de trabalhos de sustentabilidade ambiental.
	$ROS_{i,j,z}$	0,35	
	kWh de energia elétrica total	0,06	
	% de energia de fontes renováveis	0,06	
	CO ₂ -eq. emitido total	0,06	
	$MCI_{i,j,z}$	0,12	
4	$CPV_{i,j,z}$	0,20	Cenário com foco 40% econômico e 60% ambiental. Foco ambiental acentuado, possivelmente em casos de relação comercial segura com clientes, onde se busca foco em melhorias técnicas uma vez que o resultado financeiro estaria seguro.
	$ROS_{i,j,z}$	0,20	
	kWh de energia elétrica total	0,12	
	% de energia de fontes renováveis	0,12	
	CO ₂ -eq. emitido total	0,12	
	$MCI_{i,j,z}$	0,24	
5	$CPV_{i,j,z}$	0,30	Cenário com foco 30% econômico e 70% ambiental. Forte priorização de desempenho ambiental do negócio. Possivelmente aplicável em casos de clientes tecnicamente e ambientalmente exigentes, com pouca concorrência técnica no mercado e fortes barreiras de entrada.
	$ROS_{i,j,z}$	0,30	
	kWh de energia elétrica total	0,08	
	% de energia de fontes renováveis	0,08	
	CO ₂ -eq. emitido total	0,08	
	$MCI_{i,j,z}$	0,16	

FONTE: O autor (2024).

3.10 LÓGICA DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA

Na Figura 21 apresenta-se o fluxograma com a lógica da ferramenta desenvolvida para análise de ecoeficiência nesta pesquisa, relacionando-se as variáveis e o desenvolvimento das equações conforme metodologia apresentada.



DESEMPENHO ECONÔMICO

— Cálculo de variáveis base para $SS_{i,j,z}$ — Cálculo de $SS_{i,j,z}$ Variáveis intermediárias Variáveis base para $SS_{i,j,z}$ Variáveis secundárias

DESEMPENHO AMBIENTAL

— Cálculo de variáveis base para $SS_{i,j,z}$ Variáveis intermediárias Variáveis base para $SS_{i,j,z}$ Variáveis secundárias

FONTE: o Autor (2024).

4 ESTADO DA ARTE BASEADO NA RSL

Para levantamento do estado da arte foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), cujos resultados são apresentados nesse capítulo. Buscou-se a análise de tipos de publicação, *journals* principais e de conteúdo, de forma geral. A RSL foi feita buscando o entendimento do estado da arte bem como para respaldar o atingimento dos resultados específicos e geral da pesquisa.

A Tabela 1 apresenta, de forma sumarizada, os resultados base encontrados mediante Revisão Sistemática da Literatura (RSL), considerando *journals*, tipos de publicação, afinidade com o tema da pesquisa, quantidade de referência encontradas entre outros.

4.1 FITAS ADESIVAS E CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS

Na interface entre fitas adesivas e temas relacionados ao mercado automotivo com ênfase especial em CEAs, o principal meio de publicação foram os artigos com *peer review*. A revista que mais se destaca é a *Procedia CIRP*, concentrando a maioria das publicações. Não há aqui autores que se destaquem em função de um alto número de publicações, mas um ponto que é válido de se destacar é que a maioria das publicações que tem relação com esta pesquisa vêm de autores localizados na Alemanha. Outro ponto é que boa parte das pesquisas é feita em parceria entre universidades/ institutos de pesquisa e fabricantes de veículos, principalmente Daimler (Mercedes-Benz), e publicadas nos últimos três anos apenas, tendo abordagem inicial, que serve por base para pesquisas futuras mais aprofundadas.

Em publicações de revisão, NGUYEN et al. (2020) e OLBRICH e LACKINGER (2022), no contexto da tendência de eletrificação dos carros, apresentam os CEAs como ponto de especial atenção por temas relacionados a segurança e qualidade dos veículos. Trabalham com foco no tema de automação da produção dos CEAs, que elencam como sendo atualmente 85% a 90% manual, tendo em vista o processo de manufatura como um todo, inclusive na aplicação de fitas adesivas aos CEAs. Por fim, em ambas as publicações elencam-se os principais pontos para pesquisas na questão da automação no processo produtivo das fabricantes de CEAs. Apresentam que muito do que se está fazendo nesse

sentido está envolvido em patentes, não em artigos ou outras publicações acadêmicas.

Tratando de automação aliada ao desempenho de materiais, TROMMNAU et al. (2020), TAGHIPOUR et al. (2020) e TROMMNAU et al. (2022) concentram-se na questão de, devido ao fato de muitos componentes dos CEAs serem flexíveis, sendo estruturalmente enrijecidos como conjunto mediante a aplicação de fitas adesivas ou tubos corrugados protetivos, são necessários estudos aprofundados a fim de gerar avanços reais na automação do processo de fabricação dos CEAs. TAGHIPOUR et al. (2020) chega a propor um modelo simulando melhorias mediante a análise de propriedades de tensão, flexão e abrasão de CEAs.

As poucas publicações relacionando fitas adesivas e CEAs, como demonstrado, atualmente focam na área de automação do processo de montagem dos CEAs. Os artigos tangenciam a aplicação de fitas adesivas aos CEAs, mas não tocam diretamente em temas como custos (que são abordados indiretamente nos temas de automação, porém de forma superficial), sustentabilidade, economia circular e temas correlatos.

4.2 FITAS ADESIVAS, SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E ECONOMIA CIRCULAR

Na interface entre fitas adesivas e temas relacionados à sustentabilidade ambiental e economia circular, o principal meio de publicação foram também os artigos com *peer review*. As revistas que mais se destacam são *Journal of Cleaner Production* e *Science of The Total Environment*, concentrando a maioria das publicações relevantes a esta pesquisa. No âmbito da inovação e novos desenvolvimentos na indústria de fitas adesivas, as principais publicações encontram-se no *International Journal of Adhesion and Adhesives*. Não há autores que se destaquem em função de um alto número de publicações, porém verificou-se que a maioria das publicações que tem relação com esta pesquisa vêm de autores localizados na Europa e na Ásia. As publicações são oriundas aqui em sua maioria de universidades e institutos de pesquisa, e foram publicadas principalmente nos últimos cinco anos apenas.

TARIQ et al. (2021) e PŁOTKA-WASYLKA et al. (2022) avaliam temas relacionados a produção, economia circular e disposição de resíduos sólidos de

fraldas, materiais compostos, entre outras coisas, por fitas adesivas. Nestes artigos os autores aplicam técnicas de Análise de Ciclo de Vida e Análise de Custo de Ciclo de Vida para avaliar a eco-eficiência de métodos de disposição final, acentuando o fato de, atualmente, estes produtos serem bastante atrelados a modelos de economia linear, não sendo fortemente balizados por projetos em Economia Circular. Apresentam dados no sentido de mostrar que se evita significativa emissão de CO₂ caso os produtos sejam reciclados, apesar de ressaltarem que o processo de reciclagem é bastante intensivo em termos de uso de energia. Uma alternativa avaliada é o envio destes resíduos para geração de energia elétrica via pirólise (processo de incineração), devido à boa capacidade calorífica destes materiais. Relativo a outros métodos de disposição final, apresenta-se a opção de aterramento como fácil, porém não indicada, pois se requer até 500 anos para a decomposição do material por completo, além da potencial liberação de resíduos tóxicos ao meio-ambiente. Também, assim como a reciclagem, métodos de disposição final como digestão e compostagem são ambientalmente incentivados, porém bastante custosos.

No contexto da indústria automotiva, HALLACK et al. (2022) apresenta a tendência de projetar-se peças, acessórios e componentes para serem fixados com produtos (inclusive fitas adesivas) que permitam fácil desmontagem, redução de peso e melhores alternativas no âmbito da EC. KADIOGLU e ADAMS (2015) também seguem no mesmo conceito, no qual fixações adesivas flexíveis são aplicáveis à indústria automotiva tendo em vista requisitos de desempenho e manufaturabilidade. HALLO et al. (2020), tratando de baterias para veículo elétricos, apresenta a necessidade de se reaproveitar os componentes dessas baterias, uma vez que ainda podem ser usados em outras aplicações. O uso de fitas adesivas na fixação destes componentes permite a fácil desmontagem e, conseqüente aplicação de princípios de EC. LU et al. (2014) aplica o conceito 6R a adesivos de fixação na indústria automotiva, onde produtos devem ser desenvolvidos com a finalidade de facilitar a montagem e a desmontagem de peças e componentes para que sejam reaproveitados ao invés de descartados. BANDL et al. (2020) segue raciocínio semelhante, porém aplicado às indústrias de saúde, medicina e eletroeletrônica.

No contexto de consumo de energia e emissão de CO₂ na indústria de manufatura, GAGLIARDI et al. (2019) apresenta materiais adesivos como uma

alternativa ambientalmente atrativa em comparação com métodos mecânicos de fixação e de soldas tendo-se em vista um cenário “*cradle to grave*”.

Como exemplos de iniciativas sustentáveis dentro da indústria de fitas adesivas, LOU et al. (2022) apresenta uma proposta de dorso de fita adesiva composto de filmes reciclados de poliéster com alto teor de CO₂ e adesivos PSA, gerando um produto, em nível de desempenho técnico, teoricamente comparável a fitas adesivas produzidas com material virgem na indústria. ALLASIA et al. (2022), SHIM et al. (2020) e BADÍA et al. (2021) tratam da substituição de adesivos PSA base solvente por opções base água. Enquanto os processos de produção de adesivos PSA a base de água, como a polimerização em emulsão, permitem a produção de materiais poliméricos com baixa emissão de solventes orgânicos, a redução de sua pegada de carbono pode ser também alcançada pela substituição de matérias-primas derivadas do petróleo por reagentes de origem biológica sustentável. KIM et al. (2022), também no conceito de substituir adesivos PSA base solvente, trata da produção de adesivos PSA acrílicos sem solvente algum. SINGH et al. (2022) propõe novas formulações de adesivos PSA com óleo de linhaça com aplicações nas embalagens das indústrias alimentícia e de saúde. Ainda no tema de adesivos PSA fabricados com produtos renováveis, PAUL et al. (2022) e DROESBEKE (2021) propõe uma formulação de adesivos PSA com poliacrilatos a base de lignina e LEE et al. (2020) propõe um adesivo acrílico com agente de *crosslinking* a base de isossorbida, material obtido a partir da glicose, como alternativa a compostos derivados de petróleo. FANG et al. (2020) propôs a substituição, em adesivos PSA com elastômero de borracha, de metil metacrilato por um metacrilato baseado em biocompostos.

No contexto de cadeia de suprimentos e operações logísticas, é frequente a preocupação com a redução de emissões de CO₂, ganhos de eficiência, iniciativas sustentáveis no âmbito da indústria 4.0 e EC, planejamento de demanda e emprego de embalagens sustentáveis que sejam, tanto quanto possível, retornáveis, reutilizáveis e recicláveis (FROIO et al., 2021; BAG et al., 2020; YAN et al., 2022; LIANG et al., 2022; SEROKA-STOLKA e OCIEPA-KUBICKA, 2019; SILVA e PÅLSSON, 2022). Apesar de estes artigos no âmbito de logística e cadeia de suprimentos não tratarem diretamente de fitas adesivas ou CEAs, o conceito principal que deles se retira (busca por redução de impactos ambientais e emprego

de EC na cadeia de suprimentos e operações logísticas) aplica-se a presente pesquisa.

As publicações relacionando fitas adesivas, sustentabilidade e economia circular ainda não abrangeram a indústria automotiva no âmbito dos CEAs, como demonstrado nesta RSL. Os artigos tangenciam, por exemplo, a aplicação de fitas adesivas as indústrias médica e de saúde, manufatura geral e automotiva no âmbito de aplicações de fixação, mas não tocam diretamente em temas como, custo, sustentabilidade, e economia circular no âmbito dos CEAs.

4.3 CONSIDERAÇÕES ACERCA DA RSL

Através da RSL evidencia-se, de maneira geral, que pouco se pesquisou na literatura sobre o tema deste trabalho. Isso é corroborado por quatro fatores:

- (1) A quase totalidade da bibliografia que embasa este trabalho é datada de cinco anos para cá;
- (2) Há poucas publicações que tangenciam o tema desta pesquisa;
- (3) As próprias empresas líderes de mercado e responsáveis pela vanguarda na indústria de fitas adesivas, ao lado de alguns acadêmicos, ainda estão em estágio inicial no que tange a temas de economia circular, sustentabilidade ambiental e, ao mesmo tempo, de alto desempenho técnico de fitas adesivas, especialmente aquelas aplicadas a CEAs;
- (4) Em termos de novas tecnologias, aquilo que se está produzindo em termos de novos produtos e processos está sendo primordialmente patentado, não necessariamente publicado em artigos acadêmicos.

Tal contexto corrobora a importância desta pesquisa, que visa aliar estratégias de aspectos financeiros a temas de vanguarda relacionados à sustentabilidade ambiental e ecoeficiência.

TABELA 1 – RESULTADOS DA RBL E DA RSL.

Base de Dados	Key Words	Período	Critério	Total de Artigos	Afinidade dos 10 Primeiros?	Principal Tipo	Principal Journal
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	328	Não	Research Articles	Forensic Science International
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes"	2012-2022	Full Text	19.771	Não	Research Articles	International Journal of Biological Macromolecules
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Full Text	12	Não	Research Articles	Energy Procedia
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND "wire harnessing"	2012-2022	Full Text	10	Sim	Research Articles	Procedia CIRP
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND "wire harnessing"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND "circular economy"	2012-2022	Full Text	69	Sim	Research Articles	Journal of Cleaner Production;
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND "circular economy"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	Science of The Total Environment
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND automotive	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	685	Sim	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND automotive	2012-2022	Full Text	2	Não	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND circularity	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	2	Não	Research Articles	Forensic Science International; Composites Part B: Engineering Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND circularity	2012-2022	Full Text	2.809	Não	Research Articles	International Journal of Biological Macromolecules
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND cost	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	38	Não	Research Articles	Talanta

FONTE: O autor (2024).

TABELA 1 – RESULTADOS DA RBL E DA RSL (cont.).

Base de Dados	Key Words	Período	Critério	Total de Artigos	Afinidade dos 10 Primeiros?	Principal Tipo	Principal Journal
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND cost	2012-2022	Full Text	6.945	Não	Research Articles	International Journal of Biological Macromolecules
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND lcc	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND lcc	2012-2022	Full Text	43	Não	Research Articles	Lithos
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND logistics	2012-2022	Full Text	125	Sim	Research Articles	Journal of Cleaner Production
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND logistics	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND production	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	16	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND production	2012-2022	Full Text	8.082	Não	Research Articles	International Journal of Biological Macromolecules
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND sustainability	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	11	Não	Research Articles	Nano Energy
Science Direct/ Web of Science	"adhesive tapes" AND sustainability	2012-2022	Full Text	4.116	Não	Research Articles	International Journal of Pharmaceuticals
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Full Text	12	Não	Research Articles	Fuel and Energy Abstracts
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND "wire harnessing"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND "wire harnessing"	2012-2022	Full Text	3	Não	Research Articles	Procedia CIRP

FONTE: O autor (2024).

TABELA 1 – RESULTADOS DA RBL E DA RSL (cont.).

Base de Dados	Key Words	Período	Critério	Total de Artigos	Afinidade dos 10 Primeiros?	Principal Tipo	Principal Journal
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND "circular economy"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	1	Sim	Research Articles	The Innovation
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND "circular economy"	2012-2022	Full Text	25	Sim	Research Articles	Bioresource Technology
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND automotive	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	5	Sim	Research Articles	International Journal of Heat and Mass Transfer
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND automotive	2012-2022	Full Text	659	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND circularity	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	16	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND circularity	2012-2022	Full Text	1.178	Não	Research Articles	International Journal of Heat and Mass Transfer
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND cost	2012-2022	Full Text	2.975	Sim	Research Articles	Sensors and Actuators B: Chemical
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND cost	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	35	Não	Research Articles	Separation and Purification Technology
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND lcc	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND lcc	2012-2022	Full Text	22	Não	Research Articles	Mechanics of Materials
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND logistics	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND logistics	2012-2022	Full Text	72	Não	Research Articles	Procedia CIRP
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND production	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	33	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives

FONTE: O autor (2024).

TABELA 1 – RESULTADOS DA RBL E DA RSL (cont.).

Base de Dados	Key Words	Período	Critério	Total de Artigos	Afinidade dos 10 Primeiros?	Principal Tipo	Principal Journal
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND production	2012-2022	Full Text	2.754	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND sustainability	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	32	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"pressure sensitive" AND sustainability	2012-2022	Full Text	1.675	Sim	Research Articles	International Journal of Adhesion and Adhesives
Science Direct/ Web of Science	"wire harnessing"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	24	Sim	Research Articles	Procedia CIRP
Science Direct/ Web of Science	"wire harnessing"	2012-2022	Full Text	249	Sim	Research Articles	Procedia CIRP
Science Direct/ Web of Science	"wire harnessing" AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"wire harnessing" AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Full Text	6	Não	Research Articles	System Requirement Analysis (Second Edition)
Science Direct/ Web of Science	"wire harnessing" AND lcc	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	0	Não	Research Articles	N/A
Science Direct/ Web of Science	"wire harnessing" AND lcc	2012-2022	Full Text	3	Não	Research Articles	System Requirement Analysis (Second Edition)
Science Direct/ Web of Science	automotive AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	23	Sim	Research Articles	Procedia CIRP
Science Direct/ Web of Science	automotive AND "Life Cycle Cost"	2012-2022	Full Text	1.055	Sim	Research Articles	Journal of Cleaner Production
Science Direct/ Web of Science	automotive AND lcc	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	14	Sim	Research Articles	Procedia CIRP
Science Direct/ Web of Science	automotive AND lcc	2012-2022	Full Text	577	Sim	Research Articles	Journal of Cleaner Production

FONTE: O autor (2024).

TABELA 1 – RESULTADOS DA RBL E DA RSL (cont.).

Base de Dados	Key Words	Período	Critério	Total de Artigos	Afinidade dos 10 Primeiros?	Principal Tipo	Principal Journal
Science Direct/ Web of Science	logistics AND circularity	2012-2022	Title, Key Words & Abstract	156	Sim	Research Articles	Journal of Cleaner Production
Science Direct/ Web of Science	logistics AND circularity	2012-2022	Full Text	7.201	Sim	Research Articles	Journal of Cleaner Production

FONTE: O autor (2024).

5 FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA

Neste capítulo apresenta-se a proposta e a aplicação da ferramenta de análise de ecoeficiência aplicada a indústria de fitas adesivas.

5.1 DESEMPENHO ECONÔMICO

A Tabela 2 apresenta os resultados comparativos da análise econômica para os produtos A e B, adquiridos das plantas na Alemanha (ALE) ou nos EUA, convertidos em Manaus nos processos em duas etapas (LW+LS) ou em etapa única (SR).

TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE CUSTOS E PREÇO.

Etapa	Parâmetro								
	i	A	A	B	B	A	A	B	B
	j	ALE	ALE	ALE	ALE	EUA	EUA	EUA	EUA
	z	LW+LS	SR	LW+LS	SR	LW+LS	SR	LW+LS	SR
	J_{i,j}	10.000	10.000	15.889	15.889	12.400	12.400	17.637	17.637
Inbound	Q.Pl _{t,i,j}	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pl _{t,Ctnr}	20	20	20	20	20	20	20	20
	a	200.000	200.000	317.780	317.780	248.000	248.000	352.736	352.736
	PU _{i,j}	2.213	2.213	2.213	2.213	2.718	2.718	2.718	2.718
	DO _{i,j}	35	35	35	35	57	57	57	57
	FO _{i,j}	11.202	11.202	11.202	11.202	7.003	7.003	7.003	7.003
	THCO _{i,j}	72	72	72	72	72	72	72	72
	BAF.l _{i,j}	1.405	1.405	1.405	1.405	0	0	0	0
	Desc. _{i,j}	92	92	92	92	483	483	483	483
	DFee _{i,j}	69	69	69	69	80	80	80	80
	CFee _{i,j}	69	69	69	69	0	0	0	0
	b	15.156	15.156	15.156	15.156	10.414	10.414	10.414	10.414
	lle _{i,j}	0	0	0	0	0	0	0	0
	c	0	0	0	0	0	0	0	0

FONTE: O autor (2024).

TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE CUSTOS E PREÇO (cont.).

Etapa	Parâmetro								
Inbound	IPI.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	C.IPI.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cofins.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	C.Cofins.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	ICMS.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	C.ICMS.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIS.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	C.PIS.I	0	0	0	0	0	0	0	0
	SiscS _{ij}	225	225	225	225	225	225	225	225
	d	225	225	225	225	225	225	225	225
	DP _{ij}	635	635	635	635	635	635	635	635
	ID _{ij}	10.000	10.000	15.889	15.889	12.400	12.400	17.637	17.637
	FD _{ij}	247	247	247	247	247	247	247	247
	THC.D _{ij}	608	608	608	608	608	608	608	608
	AFRM _{ij}	3.789	3.789	3.789	3.789	2.604	2.604	2.604	2.604
	EAD _{ij}	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572	1.572
	e	16.850	16.850	22.739	22.739	18.065	18.065	23.302	23.302
T_{inbound_(i,j)}	232.230	232.230	355.899	355.899	276.703	276.703	386.676	386.676	
Processo de Conversão	W _{i, RM}	1,140	1,140	1,180	1,180	1,140	1,140	1,180	1,180
	l _{i, RM}	3.900	3.900	3.500	3.500	3.900	3.900	3.500	3.500
	W _{i, FG}	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
	l _{i, FG}	25	25	25	25	25	25	25	25
	n _{JB}	9.360	9.360	8.680	8.680	9.360	9.360	8.680	8.680
	TC	1,2405	1,2405	2,0501	2,0501	1,4781	1,4781	2,2274	2,2274
	Mr _{i,z}	5,1644	6,7164	5,1644	6,7164	5,1644	6,7164	5,1644	6,7164
	t _{i,z}	0,0717	0,0317	0,0717	0,0317	0,0717	0,0317	0,0717	0,0317
	CP_{ij,z}	0,3703	0,2129	0,3703	0,2129	0,3703	0,2129	0,3703	0,2129
	C	1,0498	0	1,0498	0	1,0498	0	1,0498	0
	n _C	60	0	62	0	60	0	62	0
Co _{i,z}	0,0175	0,0153	0,0169	0,0153	0,0175	0,0153	0,0169	0,0153	

FONTE: O autor (2024).

TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE CUSTOS E PREÇO (cont.).

Etapa	Parâmetro								
Processo de Conversão	SB	1,7066	1,7066	1,7066	1,7066	1,7066	1,7066	1,7066	1,7066
	n _{RC}	96	96	96	96	96	96	96	96
	CT	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178
	IP	0,0993	0,0993	0,0993	0,0993	0,0993	0,0993	0,0993	0,0993
	n _{PB}	16	16	16	16	16	16	16	16
	PB	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062
	L _{CT}	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	n _{CT}	2	2	2	2	2	2	2	2
	L _{PB}	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	n _{PB}	6	6	6	6	6	6	6	6
	L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	RM_i	0,0415	0,0393	0,0409	0,0393	0,0415	0,0393	0,0409	0,0393
	P_{ij,z}	1,6523	1,4927	2,4613	2,3023	1,8899	1,7303	2,6386	2,4796
Armazenagem na Planta	CM _{int}	7,6753	7,6753	7,6753	7,6753	7,6753	7,6753	7,6753	7,6753
	n _{CT.Plt}	144	144	144	144	144	144	144	144
	n _{FG.Plt}	13.824	13.824	13.824	13.824	13.824	13.824	13.824	13.824
	AI_i	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
Cabotagem	Plt _{j.Ctnr'}	20	20	20	20	20	20	20	20
	a'	456.835	412.716	680.508	636.544	522.519	478.399	729.523	685.560
	FC _{ij,z}	2.265	2.265	2.265	2.265	2.265	2.265	2.265	2.265
	TPMAO _{ij,z}	114	114	114	114	114	114	114	114
	TPITJ _{ij,z}	73	73	73	73	73	73	73	73
	ADV _{ij,z}	235	235	235	235	235	235	235	235
	DS.C _{ij}	354	354	354	354	354	354	354	354
	b'	3.040	3.040	3.040	3.040	3.040	3.040	3.040	3.040
	ICMS _{ij,z}	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%
	c'	552	499	820	768	631	578	879	826
	C_i	1,6653	1,5056	2,4753	2,3161	1,9032	1,7434	2,6528	2,4936
Armazenagem Externa	AE_i	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
	C.AE _{ij,z}	1,6666	1,5068	2,4765	2,3173	1,9044	1,7447	2,6540	2,4948
Outbound	T_{outbound_(l,j,z)}	0,09619	0,09619	0,09619	0,09619	0,09619	0,09619	0,09619	0,09619

FONTE: O autor (2024).

TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE CUSTOS E PREÇO (cont.).

Etapa	Parâmetro								
Custo e Preços	CPV_{i,j,z}	1,7628	1,6030	2,5727	2,4135	2,0006	1,8409	2,7502	2,5910
	MB _{i,j,z}	50%	55%	47%	50%	43%	48%	43%	46%
	PVL_{i,j,z}	3,5255	3,5255	4,8271	4,8271	3,5255	3,5255	4,8271	4,8271
	ICMS.V	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%
	PIS.V	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%
	Cofins.V	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
	IPI.V	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	I _{i,j,z}	18,55%	18,55%	18,55%	18,55%	18,55%	18,55%	18,55%	18,55%
	PVB_{i,j,z}	4,1796	4,1796	5,7227	5,7227	4,1796	4,1796	5,7227	5,7227

FONTE: O autor (2024).

5.1.1 Inbound

Ao analisar os dados concernentes ao âmbito econômico, a primeira observação é a de que o custo EXW do jumbo do produto A é menor que o do jumbo do produto B, sejam eles produzidos na planta da Alemanha ou na dos EUA. Isso ocorre em função das matérias-primas usadas em sua estrutura. Enquanto o produto A tem dorso de não-tecido, o produto B tem dorso de tecido com trama com um alto *mesh*, o que faz com que o dorso de B seja mais caro que o dorso de A. Também, há diferença de custo nos insumos dos adesivos, tendendo a onerar o custo do produto B em relação ao produto A. Os demais insumos utilizados na produção dos jumbos, tais como tubetes, fitas de emenda e embalagem dos jumbos, têm custo similar dentro da mesma planta. De maneira geral, é esperado que o produto B seja mais caro que o produto A, visto que se trata um tipo de fita adesiva projetada para suportar maior demanda e requisitos técnicos, pois esta é utilizada na região do motor, onde há maior temperatura, fricção, sujidade e impactos mecânicos. O produto A, utilizado na região do habitáculo dos veículos, tem exigência de resistência a temperatura mais baixa e foco apenas em atenuação e conforto acústico, não necessitando suportar influências ambientais externas e de rodagem, de forma geral. Por fim, observa-se que o custo EXW de ambos os produtos é menor com produção feita na planta da Alemanha em detrimento da planta dos EUA

em 24% para o produto A e em 11% para o produto B. Dessa forma, do ponto de vista de custos, inicialmente a opção de compra da planta da Alemanha parece mais vantajosa tanto para A quanto para B. A carga de material nos contêineres é a mesma independentemente da origem: um jumbo por pallet e 20 pallets por contêiner, indicando que cada contêiner importa 20 jumbos. Assim, o valor monetário “a” de compra por contêiner saindo da Alemanha tende a ser menor que de materiais comprados da planta dos EUA.

Do ponto de vista da logística *inbound*, no entanto, há diferenças importantes no processo de importação de cada planta até Manaus. O custo de carregamento dos jumbos na origem ($PU_{i,j}$) e desembaraço aduaneiro na origem ($DO_{i,j}$) são menores na importação oriunda da Alemanha em detrimento daquela saindo da planta dos EUA, respectivamente em 18,6% e 39,2%. Ao analisarmos os custos associados a taxas de desconsolidação de carga na origem ($Desc_{i,j}$), de documentação ($DFee_{i,j}$) e taxas cambiais referentes a numerário ($CFee_{i,j}$), observou-se que estas são mais dispendiosas na operação via EUA em relação ao processo via Alemanha. No entanto, o frete local na origem ($FO_{i,j}$) mais as taxas de armador ($BAF_{i,j}$) são 44,4% menores no processo de importação via EUA em relação a Alemanha. Avaliando o custo total de importação marítima dos jumbos até Manaus “b”, verifica-se que a importação oriunda dos EUA é 31,3% menos dispendiosa que a operação de importação vinda da Alemanha, muito devido ao fato de que o principal componente de custo do processo de importação, o frete ($FO_{i,j}$), ser 37,5% menor que o frete de importação vindo da Alemanha. Dessa forma, observa-se que a operação de importação até Manaus via Alemanha é vantajosa em termos financeiros em diversos subcomponentes do custo, mas que no âmbito geral, o valor via EUA apresenta-se mais atrativo nesta parte do custeio.

Não há taxas de importação dos jumbos em Manaus devido a benefícios da ZFM, independentemente se eles são oriundos dos EUA ou da Alemanha ($Ile_{i,j} = 0$ para ambas as fontes de jumbos). Também, para ambas as origens IPI, PIS, Cofins e ICMS de importação também são nulos. A mesma taxa Siscomex ($SiscS_{i,j}$) é cobrada para ambos os casos. Dessa forma, os custos fiscais na entrada do material em Manaus “d” são os mesmos independentemente da origem dos jumbos.

O componente final dos custos de importação compreende gastos com desembarço aduaneiro em Manaus, frete local, movimentação portuária em Manaus, seguro internacional de carga e taxas relativas a Marinha Mercante. Os custos com desembarço aduaneiro, frete local, movimentação portuária em Manaus são iguais para importações tanto dos EUA quanto oriundas da Alemanha, não havendo aqui diferença de valores. O seguro internacional para cargas vindas dos EUA é mais caro que o de cargas vindas da Alemanha, pois compreende uma alíquota de 5% incidente sobre o valor EXW da carga “a”. Se o valor de um contêiner carregado vindo dos EUA é maior que o de uma carga vindo da Alemanha, visto que os jumbos mudam de valor de planta para planta, o seguro internacional $ID_{i,j}$ via EUA será também mais caro que aquele relacionado a cargas originárias da Alemanha. Em contrapartida, as taxas de Marinha Mercante ($AFRM_{i,j}$) para importação dos EUA são 31,3% mais em conta que para importação da Alemanha, pois compreendem uma alíquota de 25% incidente sobre o valor do processo logístico de importação “b”. Se o valor do componente logístico de importação é menor via EUA, principalmente devido a um menor custo de frete, a taxa $AFRM_{i,j}$ será também menor que aquela relacionada a cargas originárias da Alemanha. Os custos locais de importação “e” vinda dos EUA são mais dispendiosos que aqueles para importação oriunda da Alemanha, principalmente devido ao valor de seguro de carga. Dessa forma, observa-se que a operação de importação até Manaus via EUA é vantajosa em termos financeiros em alguns subcomponentes desta parte do custo, mas que no âmbito geral, o valor via Alemanha apresenta-se mais em conta, nesta parte do custeio, em 6,7% para o produto A e em 2,4% para o produto B.

De maneira geral, o custo de jumbos postos no centro de conversão ($T_{inbound_{i,j}}$) vindos da Alemanha, tanto para o produto A quanto para o produto B, é mais em conta que numa compra vinda dos EUA, respectivamente em 16,1% e 8,0%. O processo de importação em si via EUA é, considerando todos os componentes logísticos e fiscais (b, c, d, e), 10,9% mais em conta para A e 10,1% mais em conta para B. Entretanto, as diferenças em favor da Alemanha são justificadas pelo fato de os jumbos em si produzidos na Alemanha serem de menor custo em relação aos mesmos produzidos nos EUA. Em suma, a

planta da Alemanha produz os jumbos mais baratos, a planta dos EUA apresenta um processo de importação mais em conta, porém, no âmbito geral, a somatória de custos de material e importação da origem até Manaus favorece uma opção de compra via Alemanha, tanto para A quanto para B.

5.1.2 Processo de Conversão

Ao analisar o processo de conversão em Manaus, o primeiro ponto a se destacar é que os jumbos de mesmo produto, seja ele A ou B, tem o mesmo dimensional independentemente da planta de origem. Assim, largura (w_{i_RM}) e comprimento (l_{i_RM}) do jumbo, tanto para A quanto para B, são os mesmos para os jumbos vindos dos EUA e da Alemanha. O produto acabado, para o mesmo produto A ou B, tem mesma largura (w_{i_FG}) e comprimento (l_{i_FG}), independentemente da origem do jumbo. Como os jumbos de mesmo produto são idênticos, os rendimentos de rolos de produto acabado por jumbos n_{JB} são iguais independentemente da origem do jumbo, tanto para A quanto para B. Assim, para jumbo de A produzem-se 9.360 rolos de produto acabado do produto A e, para cada jumbo de B, produzem-se 8.680 rolos de produto acabado do produto B. Como os custos dos jumbos vindos da Alemanha postos em Manaus são menores que aqueles dos jumbos vindos dos EUA, tanto para A quanto para B, o custo de material por rolo de produto acabado (TC) com jumbos da Alemanha é 16,1% menor para A e 8,0% menor para B em relação ao custo com jumbos vindo dos EUA.

Uma vez avaliados os custos do processo de conversão, existem diferenças significativas que se destacam. Em primeiro lugar, a taxa de custo de fabricação por minuto varia de cada processo, sendo que Mr_{LW+LS} é 30% inferior ao Mr_{SR} . Isso se deve às próprias máquinas e a mão de obra associada às mesmas. As rebobinadoras e cortadoras de *log* são máquinas muito mais simples do que máquinas para SR. Como essas máquinas mais simples têm menor preço, com menor impacto de depreciação, menores custos de manutenção e exigem mão de obra menos qualificada, o custo de operação desses processos é geralmente menor do que operar uma máquina de SR, que acarreta mais custos relacionados à depreciação, manutenção mais complexa,

exige mão de obra mais qualificada e assim por diante. O outro componente do custo do processo é o tempo necessário para o ciclo de conversão. Neste cenário, t_{SR} , por ser um processo de uma única etapa operando em maior velocidade, é um tempo de ciclo mais curto do que t_{LW+LS} para o processo de duas etapas. Isso significa que SR tem produtividade superior por unidade de tempo. No geral, o processo SR é mais caro do que LW+LS por unidade de tempo, mas isso é compensado pela maior produção. O custo final do processo de conversão ($CP_{i,j,z}$) no processo SR é então 42,5% menor que no processo em duas etapas LW+LS. Assim, do ponto de vista da fabricação, SR é um processo de conversão melhor em termos de custo.

Como as caixas de papelão, as etiquetas e sacos plásticos para embalagens internas são iguais para ambos os processos de conversão, essas matérias-primas locais têm o mesmo custo. Portanto, SB , n_{RC} , CT , IP , n_{PB} , PB , L_{CT} , n_{CT} , L_{PB} , n_{PB} e L são iguais em LW+LS e SR. O cenário difere, no entanto, quando os tubetes de papel são considerados. Para LW+LS, os tubetes são fornecidos em larguras adequadas a serem utilizadas em rolos *log* em LW para posterior corte em LS. Para SR os tubetes são adquiridos já cortados na largura dos rolos acabados. Como para LW os tubetes devem ser um pouco mais largos que o rolo *log* a fim de obter um posicionamento apropriado para LW e uma fixação adequada do rolo *log* nos eixos das máquinas de corte para LS, o custo final dos tubetes por rolo de produto acabado ($Co_{i,z}$) é superior no processo LW+LS em relação ao processo SR, tanto para A quanto para B.

Considerando todos os componentes de custo do processo de conversão, num cenário geral, SR mostra-se um processo melhor que LW+LS devido à maior produtividade e aos custos de matéria-prima local.

O custo do produto acabado após o processo de conversão local ($P_{i,j,z}$) é, então, em SR menor que em LW+LS, com diferenças em 5,3% para A e 4,0% para B considerando-se jumbos de mesma origem manufaturados no mesmo processo de conversão.

5.1.3 Armazenagem, Cabotagem e Outbound

Os custos de armazenagem interna na planta bem como no armazém de Itajaí são os mesmos, independentemente do produto, planta de origem do jumbo ou processo de conversão. Relativo à armazenagem interna, cada posição pallet tem um custo fixo mensal a mesma quantidade de produto acabado. Considerando-se um giro de estoque de um mês, o custo de armazenagem interna em Manaus (AI_i) é então 0,0006 para todos os cenários de produto modelados. No caso da armazenagem em Itajaí, o custo mensal fixo por posição pallet junto ao armazém terceiro, considerando um giro de estoque de um mês, gera um custo de armazenagem externa (AE_i) de 0,0013 para todos os cenários de produto modelados.

Com relação aos custos de cabotagem, o contêiner expedido de Manaus para Itajaí terá a mesma quantidade de 20 pallets que aquele recebido no processo de *Inbound*. Como o custo do produto convertido $P_{i,j,z}$ varia dependendo da origem do jumbo e do processo de conversão adotado, o valor do produto cabotado no contêiner (a') também mudará. Os demais custos do processo de cabotagem, como frete, taxas de movimentação portuária em Manaus e em Itajaí, *Ad Valorem* e desembaraço aduaneiro, são todos iguais independentemente do cenário modelado, haja vista que o processo de cabotagem é o mesmo independentemente do cenário. Assim, $FC_{i,j,z}$, $TPMAO_{i,j,z}$, $TPITJ_{i,j,z}$, $ADV_{i,j,z}$ e $DS.C_{i,j}$ e b' serão constantes. O valor de ICMS cobrado na cabotagem compreende uma alíquota fixa de 0,12% da soma $a'+b'$, de modo que em números absolutos irá variar. Se por um lado os custos de cabotagem b' são constantes, o valor da mercadoria a' muda em função do produto, origem de jumbo e processo de conversão, o que trará variação ao valor de c' dependendo do cenário adotado. Analisando as variáveis e cenários em questão, tem-se então que o custo do produto cabotado posto em Itajaí segue a sequência $CAe_{A,ALE,SR} < CAe_{A,ALE,LW+LS} < CAe_{A,EUA,SR} < CAe_{A,EUA,LW+LS}$ para o produto A bem como $CAe_{B,ALE,SR} < CAe_{B,ALE,LW+LS} < CAe_{B,EUA,SR} < CAe_{B,EUA,LW+LS}$ para o produto B.

Os custos de entrega do produto acabado saindo de Itajaí até os clientes finais ($T_{outbound_i,j,z}$) variam em função da localização do cliente, volume

de material a ser entregue e do mix de produtos a ser entregue no cliente. Dessa forma, a empresa do estudo de caso informou um valor médio estimado para $T_{\text{outbound}_{i,j,z}}$ de 0,09619 para ambos os produtos A e B.

5.1.4 Custo final e preço de venda

O Gráfico 1 apresenta a composição de custos dos diferentes cenários modelados. As Figuras 22 e 23 apresentam a composição de custos de forma mais detalhada em cada cenário para os produtos A e B, respectivamente. Pode-se observar que o principal componente dos custos finais é o custo com material importado, a fração de produto derivada dos jumbos após o processo de conversão. Num segundo patamar de importância aparecem os custos com processo de conversão, seguidos de gastos com transporte logístico *inbound* e *outbound*. Por fim, gastos com armazenagem e cabotagem são pouco expressivos no custo do produto final. Tais conclusões estão em linha com a tendência observada de que os melhores cenários apresentam-se, para ambos os produtos, com jumbos comprados da Alemanha (menor custo em relação aqueles dos EUA) e convertidos no processo SR (menor custo em relação ao processo em duas etapas LW+LS).

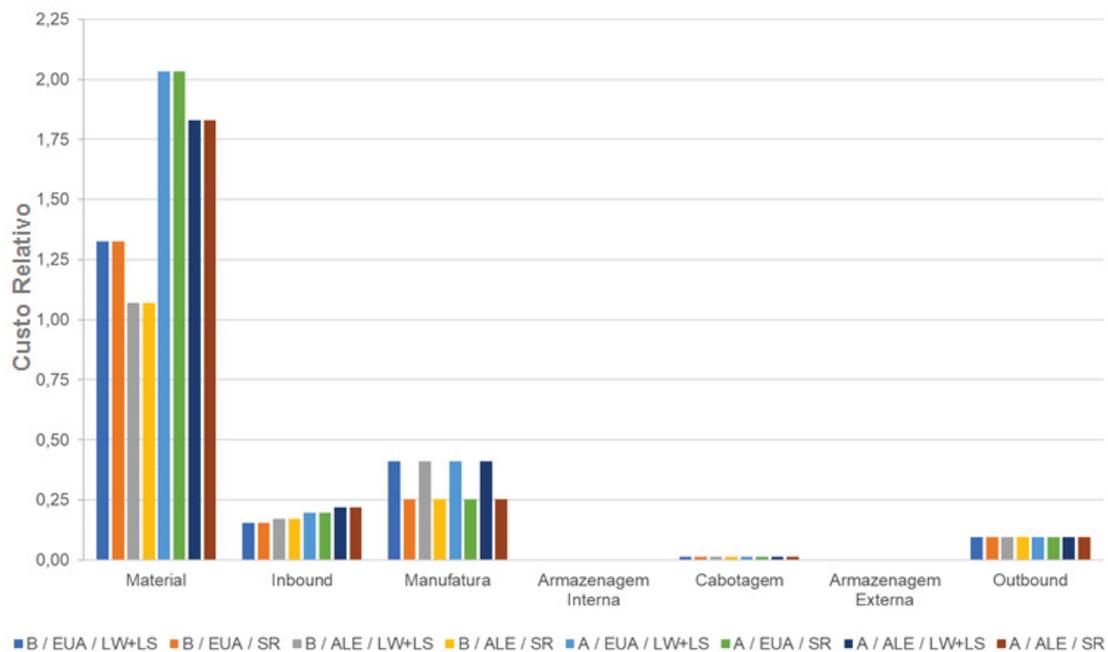
As escolhas da melhor fonte de compra e do melhor processo local de conversão implicam, então, necessariamente no cenário de melhor desempenho econômico.

O custo final dos produtos foi modelado e seguiu a sequência $CPV_{A,ALE,SR} < CPV_{A,ALE,LW+LS} < CPV_{A,EUA,SR} < CPV_{A,EUA,LW+LS}$ para o produto A bem como $CPV_{B,ALE,SR} < CPV_{B,ALE,LW+LS} < CPV_{B,EUA,SR} < CPV_{B,EUA,LW+LS}$ para o produto B. Tal resultado indica como a melhor escolha, tendo em vista todos os custos de matéria-prima, manufatura e logística, compra dos jumbos de A e B da planta da Alemanha bem como conversão em etapa única no processo SR.

O preço de venda líquido ($PVL_{i,j,z}$) dos produtos A e B foi estimado em valores médios pela empresa do estudo de caso. Menores custos, devido a melhor compra e manufatura, geram maior lucro a empresa. Como as alíquotas de impostos ICMS, PIS, Cofins e IPI são fixas, para um mesmo $PVL_{i,j,z}$ haverá um mesmo preço de venda bruto ($PVB_{i,j,z}$). Como o preço de venda é fixo,

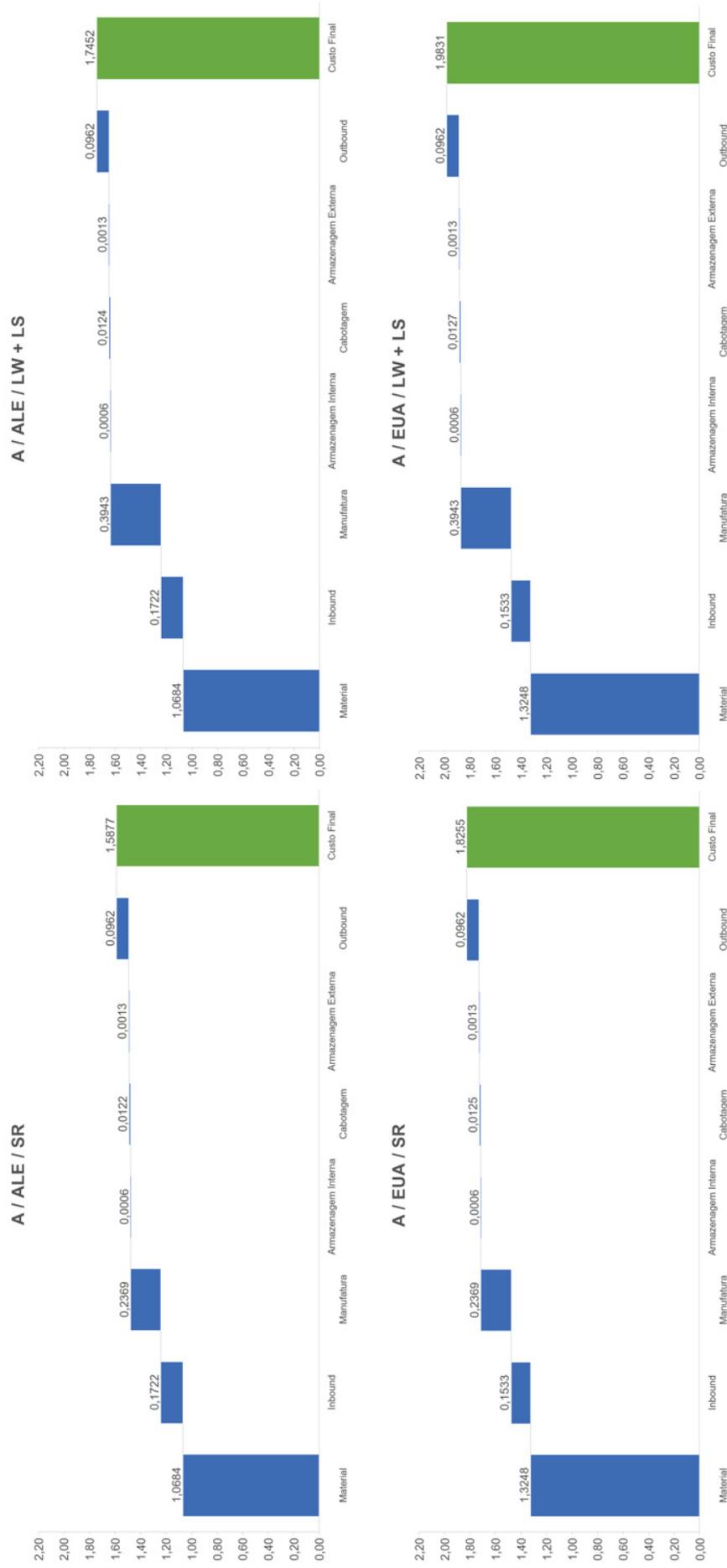
independentemente de onde vem os jumbos e por qual processo são convertidos, isso faz com que a margem de lucro bruta ($MB_{i,j,z}$) seja inversamente proporcional ao custo. Assim, os melhores cenários não só do ponto de vista de custo, mas também de margem de lucro são obtidos com jumbos A e B da planta da Alemanha e processo de conversão SR.

GRÁFICO 1 – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DOS PRODUTOS NOS DIFERENTES CENÁRIOS.



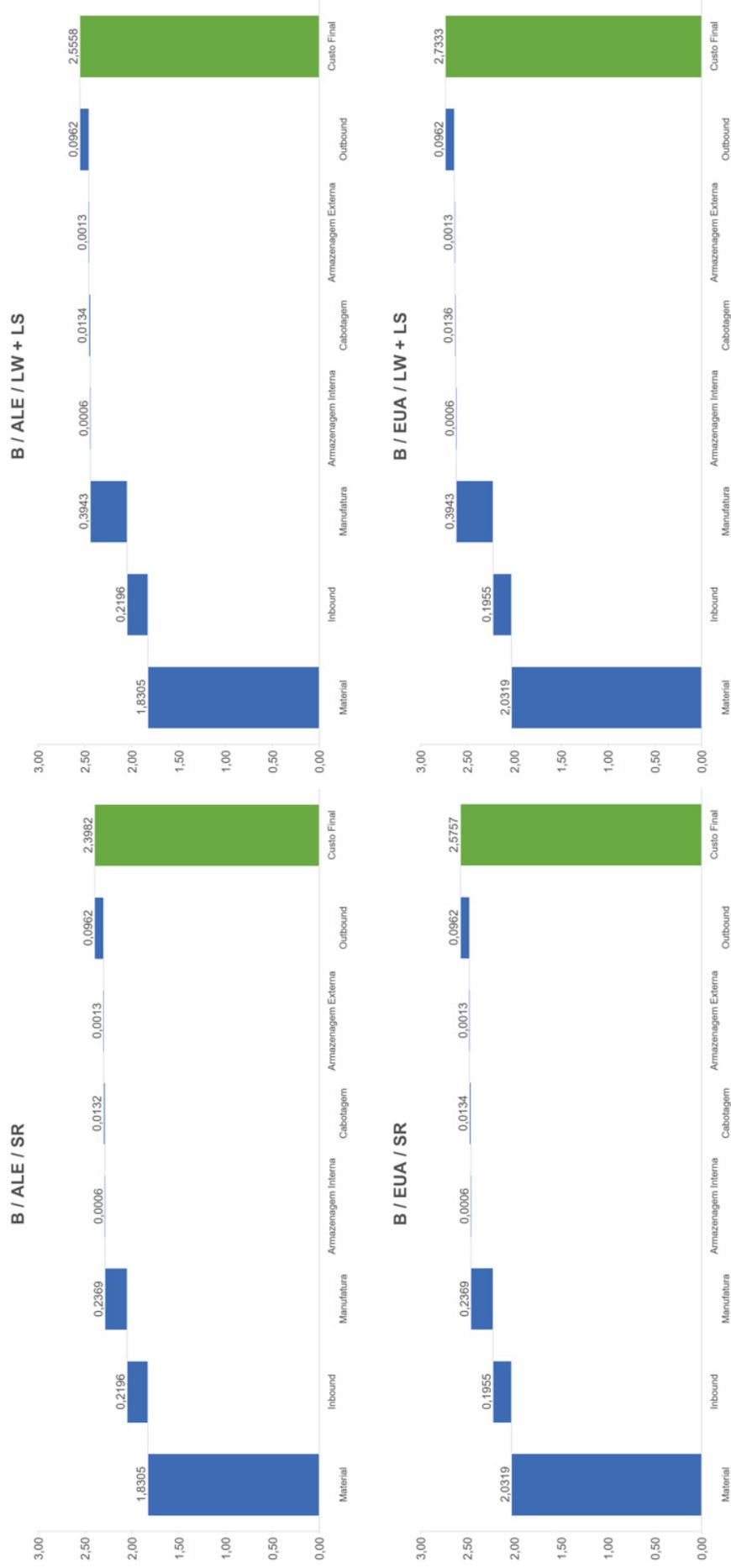
FONTE: O autor (2024).

FIGURA 22 – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO PRODUTO A NOS DIFERENTES CENÁRIOS.



FONTE: O autor (2024).

FIGURA 23 – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO PRODUTO B NOS DIFERENTES CENÁRIOS.



FONTE: O autor (2024).

5.1.5 Demonstração de Resultado do Exercício

Na Tabela 3 é apresentada a Demonstração de Resultado do Exercício (DRE) para os cenários modelados, tendo por base cada unidade de produto acabado. As despesas operacionais (DOP) tais como folha de pagamento, *marketing*, despesas gerais etc. são iguais para todos os cenários avaliados, pois as mesmas são fixas. Portanto, a empresa do estudo de caso informou um valor médio estimado a ser usado para ambos os produtos de $DOP = 1,5322$ por rolos de produto acabado, tanto para A quanto para B.

Um dos incentivos da ZFM é o valor de crédito estímulo de ICMS sobre o valor de venda (C-ICMS-V), onde parte do valor cobrado de ICMS é retido pela empresa ao invés de ser pago ao Governo Federal. Tal valor corresponde, nesta modelagem, a 10,83% da Receita Bruta ($RB_{i,j,z}$). Deduzindo-se de $RB_{i,j,z}$ os valores dos impostos sobre a venda (IPI.V, ICMS.V, PIS.V, Cofins.V) bem como o custo do produto ($CPV_{i,j,z}$) e as despesas operacionais (DOP), tem-se o lucro operacional por produto acabado ($LAIR_{i,j,z}$). Como DOP é constante e, todos os casos e C-ICMS-V também, visto que é um percentual relativo ao preço de venda do produto ($PVB_{i,j,z}$), e , por conseguinte, a receita bruta ($RB_{i,j,z}$), quanto menor o custo do produto, maior será a margem de lucro bruta e também o lucro operacional. Dessa forma, o lucro operacional segue a sequência $LAIR_{A,ALE,SR} > LAIR_{A,ALE,LW+LS} > LAIR_{A,EUA,SR} > LAIR_{A,EUA,LW+LS}$ para o produto A bem como $LAIR_{B,ALE,SR} > LAIR_{B,ALE,LW+LS} > LAIR_{B,EUA,SR} > LAIR_{B,EUA,LW+LS}$ para o produto B.

Descontando-se o Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ) e a Contribuição Social Sobre Lucro Líquido (CSLL), que são calculadas, respectivamente, como 6,25% e 9% do valor de $LAIR_{i,j,z}$, chega-se ao lucro líquido da operação ($LL_{i,j,z}$). Como os percentuais das alíquotas são fixos, quanto maior o valor de $LAIR_{i,j,z}$ maior será $LL_{i,j,z}$. Dessa forma, o lucro líquido segue a sequência $LL_{A,ALE,SR} > LL_{A,ALE,LW+LS} > LL_{A,EUA,SR} > LL_{A,EUA,LW+LS}$ para o produto A bem como $LL_{B,ALE,SR} > LL_{B,ALE,LW+LS} > LL_{B,EUA,SR} > LL_{B,EUA,LW+LS}$ para o produto B. Uma outra forma de avaliar a rentabilidade dos cenários é através da lucratividade ($ROS_{i,j,z}$), que nada mais é que o quociente entre $LL_{i,j,z}$ e $RB_{i,j,z}$. Avaliando em forma percentual, verifica-se a mesma tendência que para o

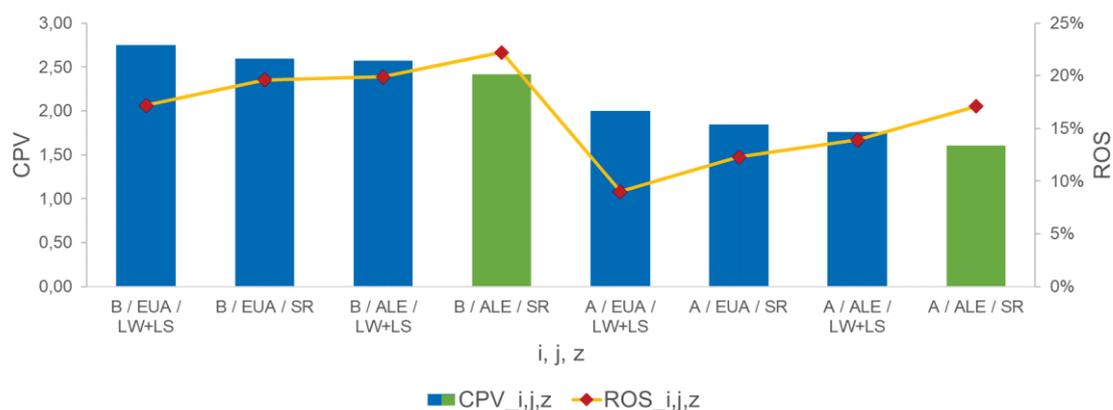
lucro líquido para ambos os produtos A e B, onde a operação mais rentável foi encontrada no cenário de importação dos jumbos da planta da Alemanha com conversão no processo SR. Nesse cenário obteve-se o menor custo e a maior margem de lucro bruta, maior lucro operacional, maior lucro líquido e maior lucratividade. O Gráfico 2 apresenta as relações de custo e lucratividade para os diferentes cenários avaliados.

TABELA 3 - DRE PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS.

Produto (i)	A	A	A	A	B	B	B	B
Planta (j)	EUA	EUA	ALE	ALE	EUA	EUA	ALE	ALE
Processo (z)	LW + LS	SR						
= $RB_{i,j,z}$	4,1796	4,1796	4,1796	4,1796	5,7227	5,7227	5,7227	5,7227
- IPI.V	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
- ICMS.V	0,5016	0,5016	0,5016	0,5016	0,6867	0,6867	0,6867	0,6867
- PIS.V	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0372	0,0372	0,0372	0,0372
- Cofins.V	0,1254	0,1254	0,1254	0,1254	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717
= $RL_{i,j,z}$	3,5255	3,5255	3,5255	3,5255	4,8271	4,8271	4,8271	4,8271
- $CPV_{i,j,z}$	2,0006	1,8409	1,7628	1,6030	2,7502	2,5910	2,5727	2,4135
- DOP	1,5322	1,5322	1,5322	1,5322	1,5322	1,5322	1,5322	1,5322
+ C-ICMS-V	0,4527	0,4527	0,4527	0,4527	0,6198	0,6198	0,6198	0,6198
= $LAIR_{i,j,z}$	0,4454	0,6051	0,6832	0,8430	1,1644	1,3236	1,3419	1,5011
- IRPJ	0,0278	0,0378	0,0427	0,0527	0,0728	0,0827	0,0839	0,0938
- CSLL	0,0401	0,0545	0,0615	0,0759	0,1048	0,1191	0,1208	0,1351
= $LL_{i,j,z}$	0,3774	0,5129	0,5790	0,7144	0,9868	1,1218	1,1373	1,2722
= $ROS_{i,j,z}$	9,0%	12,3%	13,9%	17,1%	17,2%	19,6%	19,9%	22,2%

FONTE: o Autor (2024).

GRÁFICO 2 – RELAÇÕES ENTRE CUSTO E LUCRATIVIDADE NO DIFERENTES CENÁRIOS.



FONTE: o Autor (2024).

5.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO AMBIENTAL

5.2.1 Dados de desempenho ambiental

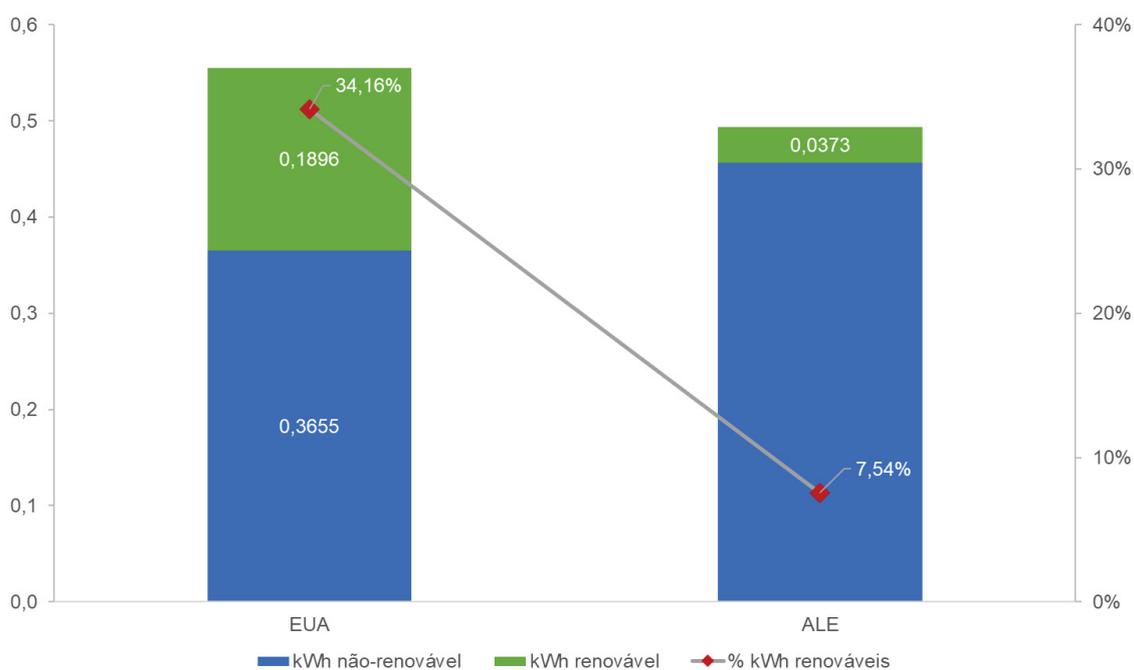
Os dados relativos a práticas concernentes a sustentabilidade ambiental foram coletados todos diretamente com a empresa do estudo de caso e estão apresentados na Tabela 4.

De forma geral, como a variação de mix de produção é alta nas plantas, os dados informados pela empresa do estudo de caso estão relacionados a valores médios por unidade produzida nas linhas de produção dos produtos A e B nas plantas dos EUA e da Alemanha, mas não são necessariamente específicos destes produtos em si, visto que outros materiais similares são também produzidos nas mesmas linhas de produção mas que tem em certo grau diferenças para A e para B.

Com relação ao uso de energia elétrica, o primeiro ponto a se destacar é que, considerando o processo de produção do jumbo mais o processo de conversão local, o cenário via processo em duas etapas (LW+LS) tem maior uso de energia que no processo de conversão em etapa única (SR), justamente por utilizar 2 máquinas ao invés de uma. Neste caso, LW+LS carrega aproximadamente 5% a mais de gasto energético que conversões com o processo SR. No caso de emprego de energia elétrica, a planta dos EUA tem um consumo de energia 12,4% superior ao da planta da Alemanha. No entanto,

enquanto 34,2% da energia elétrica utilizada na planta dos EUA é oriunda de fontes renováveis, apenas 7,5% da energia elétrica da planta da Alemanha vem de origem renovável, sendo majoritariamente oriundo de fontes termoelétricas como óleo e gás. O consumo superior por parte da planta dos EUA é justificado devido ao fato de a mesma estar localizada numa região mais fria que a planta da Alemanha, portanto necessitando maior quantidade de energia para processos de aquecimento. O Gráfico 3 apresenta os dados relativos ao perfil de consumo energético considerando as plantas dos EUA e da Alemanha.

GRÁFICO 3 – PERFIL DE CONSUMO ENERGÉTICO DAS PLANTAS DOS EUA E DA ALEMANHA.

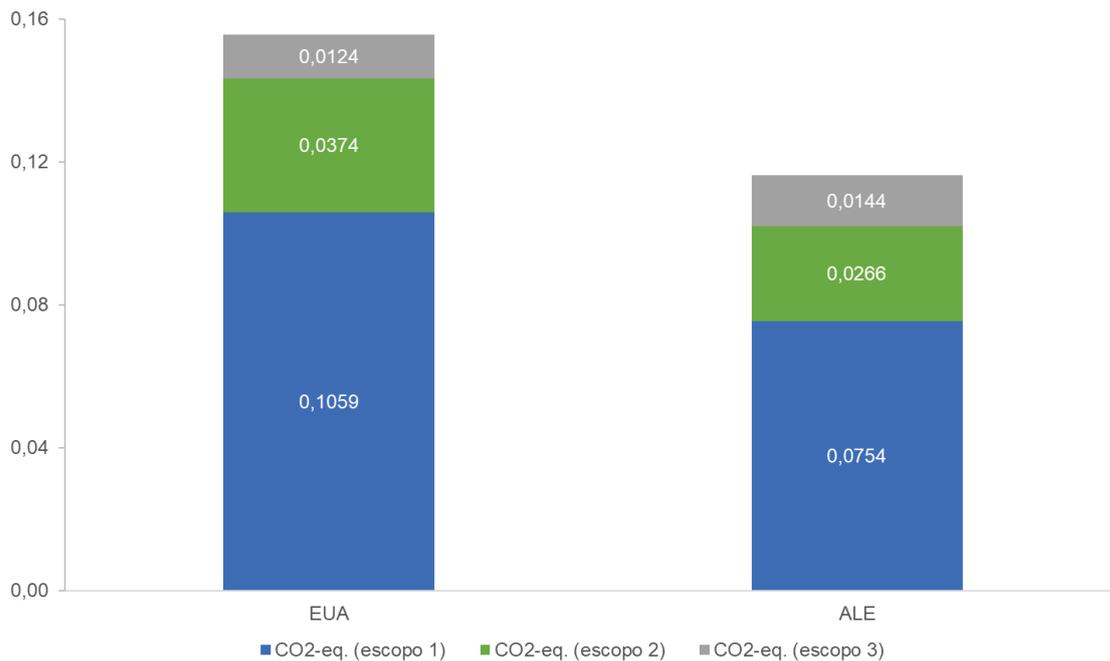


FONTE: o Autor (2024).

No tocante a emissões de CO₂, foram analisadas no processo como um todo as emissões escopos 1, 2 e 3. Tanto para emissões escopo 1 quanto para as de escopo 2, o processo considerando jumbos da Alemanha tem emissões em quantidade 28,8% abaixo daquelas considerando compra de jumbos dos EUA. Ao mensurar-se emissões escopo 3, no entanto, devido a uma menor distância para transporte logístico entre EUA e Manaus em relação a distâncias entre Alemanha e Manaus, as emissões escopo 3 considerando

compra de jumbos dos EUA seriam 16,1% abaixo do que aquelas considerando compra de jumbos da Alemanha. No âmbito de emissões totais de CO₂ equivalente, o cenário permanece mais favorável para compra de jumbos via Alemanha, com emissões totais em média 25% abaixo do que aquelas para compra via EUA. O Gráfico 4 apresenta o perfil de emissões de CO₂ equivalente nos cenários de compra de jumbos das diferentes plantas.

GRÁFICO 4 – PERFIL DE EMISSÕES DE CO₂ EQUIVALENTE COMPARANDO-SE OS CENÁRIOS COM COMPRA DAS DIFERENTES PLANTAS.

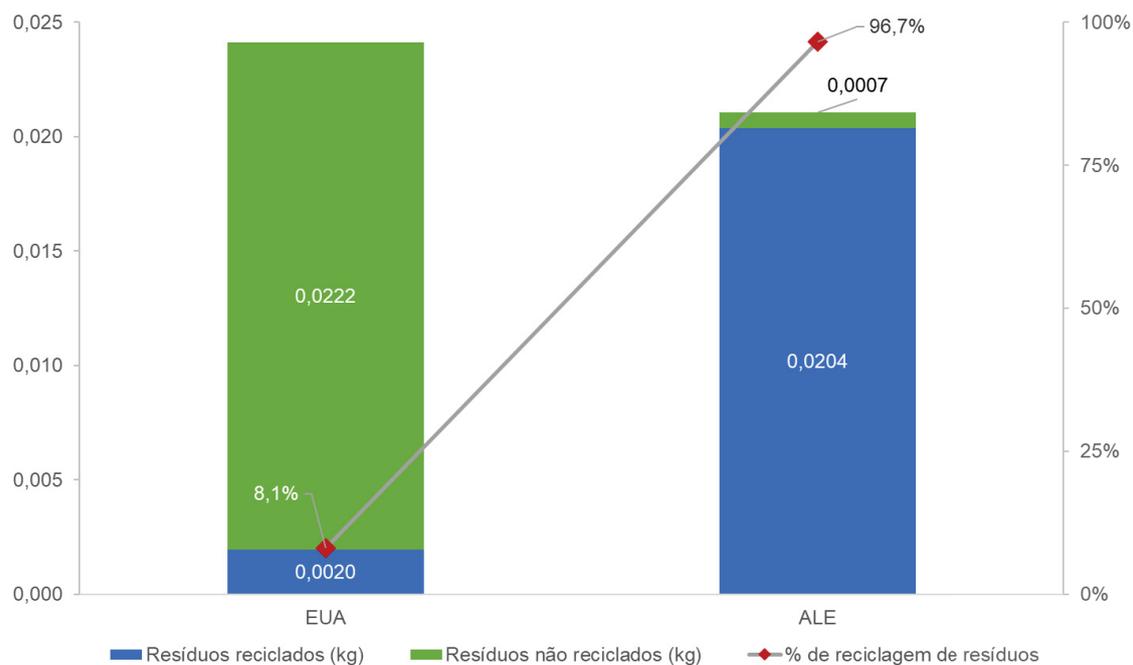


FONTE: o Autor (2024).

Em relação ao emprego de solventes orgânicos, enquanto a planta dos EUA trabalha com produtos com adesivos base água, a planta da Alemanha trabalha com adesivos *hotmelt*, de modo que nenhuma delas emprega solventes orgânicos na produção dos produtos A e B. Assim, ambas aqui estão com performance ambiental equivalente e ótima. Uma consideração adicional sobre este ponto seria que, ainda que ambas as plantas não tenham uso de solventes orgânicos, o processo com adesivos *hotmelt* é melhor que o processo com adesivos base água, pois o consumo de recursos hídricos no processo produtivo dos jumbos é então reduzido. No âmbito de reciclagem de resíduos, vemos aqui uma forte diferença entre as plantas. Enquanto na planta

da Alemanha 96,7% dos resíduos sólidos são reciclados, na planta dos EUA o índice de reciclagem de resíduos é de apenas 8,1%, sendo neste caso a maioria dos resíduos sólidos encaminhados para aterros e/ou para incineração. O Gráfico 5 apresenta o perfil de gestão de resíduos sólidos comparando-se os cenários das plantas da Alemanha e dos EUA.

GRÁFICO 5 – PERFIL DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DAS DIFERENTES PLANTAS.



FONTE: o Autor (2024).

De maneira geral, observa-se que o desempenho ambiental da planta da Alemanha é superior ao da planta dos EUA, a exceção na questão de uso de energias renováveis e nas emissões de CO₂ equivalente escopo 3. Isso se deve ao fato da planta da Alemanha ser uma unidade produtiva mais automatizada, otimizada, com perfil produtivo voltado a exportação e maior grau de maturidade industrial. A planta dos EUA é uma unidade produtiva menor, com perfil de atuação mais localizado e voltado para as necessidades ambientais das circunvizinhanças imediatas nos EUA. Dessa forma, aqui verifica-se a mesma tendência daquela observada na questão de custos: o mais indicado é a compra de jumbos da Alemanha com processo de conversão local SR.

TABELA 4 – DADOS PARA ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL POR UNIDADE PRODUZIDA.

Matriz de análise de ambiental	i	A		A		B		B		B	
	j	EUA	EUA	ALE	ALE	EUA	EUA	EUA	EUA	ALE	ALE
	z	LW + LS	SR								
kWh de energia elétrica não-renovável		0,3655	0,3481	0,4566	0,4349	0,3655	0,3481	0,4566	0,4349	0,4566	0,4349
kWh de energia elétrica renovável		0,1896	0,1806	0,0373	0,0355	0,1896	0,1806	0,0373	0,0355	0,0373	0,0355
kWh de energia elétrica total		0,5551	0,5287	0,4939	0,4703	0,5551	0,5287	0,4939	0,4703	0,4939	0,4703
% de energia de fontes renováveis		34,2%	34,2%	7,5%	7,5%	34,2%	34,2%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
CO ₂ -eq. emitido (escopo 1)		0,1059	0,1059	0,0754	0,0754	0,1059	0,1059	0,0754	0,0754	0,0754	0,0754
CO ₂ -eq. emitido (escopo 2)		0,0374	0,0374	0,0266	0,0266	0,0374	0,0374	0,0266	0,0266	0,0266	0,0266
CO ₂ -eq. emitido (escopo 3)		0,0124	0,0124	0,0144	0,0144	0,0124	0,0124	0,0144	0,0144	0,0144	0,0144
CO ₂ -eq. emitido total		0,1556	0,1556	0,1164	0,1164	0,1556	0,1556	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164
m ³ de solventes orgânicos		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Resíduos não reciclados (kg)		0,0222	0,0222	0,0007	0,0007	0,0222	0,0222	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
Resíduos reciclados (kg)		0,0020	0,0020	0,0204	0,0204	0,0020	0,0020	0,0204	0,0204	0,0204	0,0204
Resíduos totais (kg)		0,0241	0,0241	0,0211	0,0211	0,0241	0,0241	0,0211	0,0211	0,0211	0,0211
% de reciclagem de resíduos		8,1%	8,1%	96,7%	96,7%	8,1%	8,1%	96,7%	96,7%	96,7%	96,7%

FONTE: o Autor (2024).

5.2.2 Índice de Circularidade

O índice de circularidade foi calculado para cada produto e para cada planta de origem. Como o processo de conversão em Manaus não interfere significativamente no cálculo do índice de circularidade dos diferentes cenários, pois seja via LW+LS ou então via SR, como a conversão do material não altera significativamente os principais fatores relativos a perfil energético, fluxos mássicos e demais parâmetros que afetam o $MCI_{i,j,z}$, o cálculo foi feito considerando-se os quatro cenários disponíveis: produtos A e B com jumbos oriundos de EUA e Alemanha, desconsiderando os efeitos do processo de conversão. A Tabela 5 apresenta os resultados para cálculo do $MCI_{i,j,z}$ nos diferentes cenários avaliados.

F_R representa a fração de material reciclado utilizado no processo, tal qual informado pelas plantas. Como não há emprego de material reutilizado no processo produtivo, $F_U=0$ para ambas as plantas. Também, como não há utilização de material biológico no processo produtivo ou no produto final, $F_S=0$ para todos os cenários. C_R representa a fração mássica de material acabado coletado para reciclagem após o uso. Tal como informado pela empresa do estudo de caso, um valor médio que pode ser assumido é de 6%, de forma que $C_R=0,06$ na análise em questão para todos os cenários.

Como não há parte do produto acabado que seja reutilizada, não há nele possibilidade de uso em compostagem e também comumente não se usa o produto final para recuperação energética, $C_U=C_C=C_E=0$. Como a maior parte do material em seu estado pós-uso é descartado em aterros ou então incinerado (KUMAR et al., 2024; LI et al., 2016.), é coerente termos os altos valores de W_0 encontrados na modelagem do $MCI_{i,j,z}$.

Adotando-se uma eficiência dos processos de reciclagem sendo 95% (KUMAR et al., 2024), temos $E_C=E_F=0,95$. No entanto, como a fração mássica do material a ser reciclada é muito baixa, a massa total de resíduos não recuperáveis (W) fica em 94,7% da massa total para o produto A e em 99,4% para o produto B.

O Índice de Fluxo Linear ($LFI_{i,j,z}$), que mede a proporção de material usado de maneira linear, é então calculado. Para os produtos convertidos a partir de jumbos dos EUA o índice obtido foi de 0,9331, enquanto para os produtos obtidos a partir dos jumbos da Alemanha foi de 0,5134, indicando que um modelo operacional com jumbos da Alemanha apresenta-se menos linear que uma opção com compra da planta dos EUA. Tendo-se em vista que fitas adesivas para CEAs têm por especificação e requisito técnico de clientes durar toda a vida útil do chicote elétrico, tempo de vida e fator de intensidade são 1. Assim, $L=L_{av}=U=U_{av}=1$. Dessa forma, o fator de utilidade $X=1$. Com os valores de LFI e X, chega-se aos índices de circularidade $MCI_{i,j,z}$.

O índice de circularidade, por ser alimentado com os dados da seção 4.3.1, reflete e quantifica o quanto os referidos cenários são circulares e, por consequência, o quão afastado está cada um de um modelo de economia linear. O $MCI_{i,j,z}$ dos produtos convertidos a partir de jumbos oriundos da planta da Alemanha ficou em 0,5379 enquanto que o índice para produtos convertidos a partir de jumbos dos EUA foi 0,1602. Tais valores corroboram os resultados relativos aos dados de desempenho ambiental obtidos. Como a planta da Alemanha tem melhores resultados para gestão ambiental (reciclagem de resíduos, menor uso de energia total etc.), naturalmente a cadeia de fornecimento com jumbos advindos dessa planta tende a ter caráter mais circular.

O $MCI_{i,j,z}$, conforme metodologia adotada, tem um intervalo de valores na faixa $(0,1]$, sendo 1 o índice que denota um regime operacional 100% circular, enquanto que quanto mais próximo a 0 mais linear seria a cadeia de fornecimento. Assim, vemos que o índice de 0,1602 indica que para a planta dos EUA há muito ainda o que melhorar no quesito desempenho ambiental. Em linha com o resultado do índice de circularidade, essa planta poderia, por exemplo, buscar redução de consumo energético, incrementar o percentual de uso de energias renováveis, implementar uma política mais adequada gestão de resíduos entre outros. No caso da planta da Alemanha, no cenário avaliado, as iniciativas que mais se destacam dentro do âmbito do $MCI_{i,j,z}$ seriam aquelas oportunidades de melhoria no sentido de aumentar o uso de energias renováveis em detrimento daquelas de origem fóssil.

TABELA 5 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE.

i	A	B	A	B
j	EUA	EUA	ALE	ALE
z	LW+LS V SR	LW+LS V SR	LW+LS V SR	LW+LS V SR
M (kg)	0,1495	0,2126	0,1495	0,2126
F _R	0,0810	0,0810	0,9670	0,9670
F _U	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F _S	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
V (kg)	0,1374	0,1954	0,0049	0,0070
C _R	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600
C _U	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C _C	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C _E	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
W ₀ (kg)	0,1405	0,1999	0,1405	0,1999
E _C	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500
W _C	0,0004	0,0006	0,0004	0,0006
E _F	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500
W _F	0,0006	0,0009	0,0076	0,0108
W	0,1416	0,2014	0,1486	0,2113
LFI	0,9331	0,9331	0,5134	0,5134
L	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
L _{av}	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
U	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
U _{av}	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
X	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
MCI _{i,j,z}	0,1602	0,1602	0,5379	0,5379

FONTE: o Autor (2024).

5.3 SINGLE-SCORE: AVALIAÇÃO GLOBAL DE ECOEFICIÊNCIA

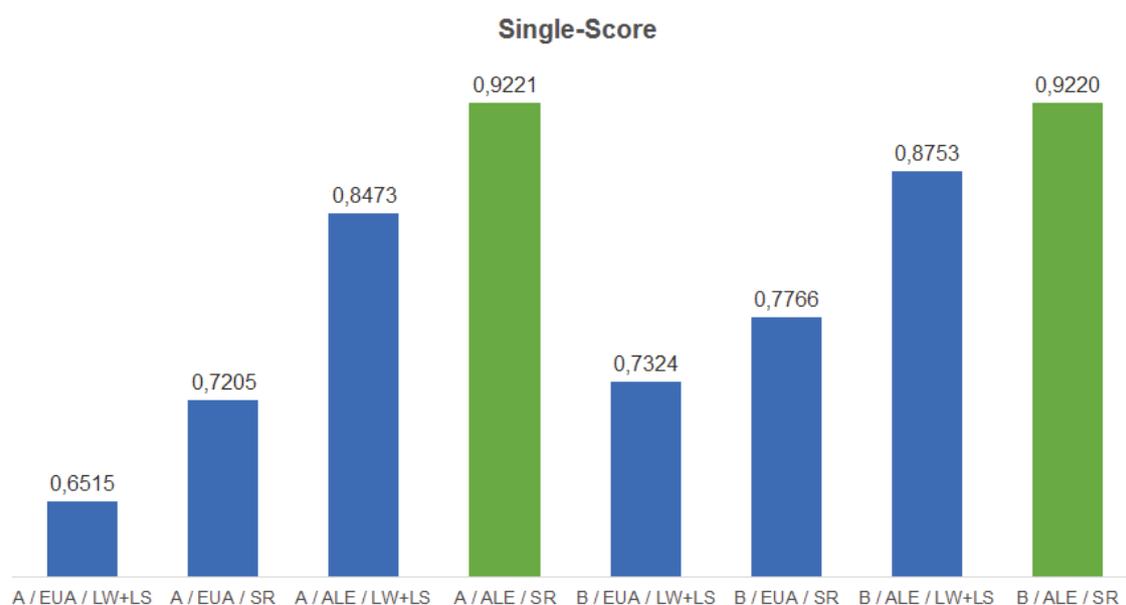
Uma vez obtidos os dados base dos cenários avaliando-se em separado desempenho econômico e desempenho ambiental, chega-se ao ponto chave da ferramenta desta pesquisa: a análise agregada de ecoeficiência dos possíveis cenários avaliados. A Tabela 6 apresenta os resultados análise de ecoeficiência nos cenários modelados e os Gráficos 6 e 7 apresentam os resultados de *single-score* obtidos em valor absoluto e dividido por componente normalizado.

A premissa base adotada para análise de ecoeficiência e comparação dos diferentes e possíveis cenários estudados considera um equilíbrio de critérios, com 50% do peso para desempenho econômico e 50% para desempenho ambiental. O intervalo de abrangência do coeficiente de ecoeficiência na modelagem proposta fica em [0,1]. Quanto mais perto o valor do *single-score* for de $SS_{i,j,z}=1$ maior será a ecoeficiência. Esse valor implicaria em que o produto i , com jumbo comprado da planta j e convertido no processo z teria o menor custo possível, a maior rentabilidade possível, o menor uso de energia elétrica possível e sendo esta com a maior fração de energia oriunda de origem renovável possível, teria o mínimo de emissões de CO_2 equivalente e o maior grau possível de circularidade na cadeia. Como foi observada uma tendência, tanto do ponto de vista de desempenho econômico quanto do desempenho ambiental, favorecendo o cenário de compra dos jumbos da planta da planta localizada na Alemanha e realização da conversão local em Manaus no processo SR, o fato disto também ser observado num coeficiente $SS_{i,j,z}$ maior evidencia que as análises estão em linha e apontando a mesma direção de forma coerente. O fato dos valores dos coeficientes, tanto para o produto A quanto para o B, estarem acima de 0,92 indica que, no contexto estudado, com as características atuais de tecnologia, custos e gestão ambiental de cada planta, a decisão de compra via Alemanha e conversão em processo SR localmente estão muito próximas do cenário ideal atingível nesse momento.

Um ponto importante a ser ressaltado é que esta ferramenta, com a modelagem utilizada, trabalha com comparações relativas, elencando numa

mesma base comparativa, dentre os cenários disponíveis, quais aqueles com maior grau de ecoeficiência, e, portanto, mais indicados num processo de tomada de decisão levando em conta os desempenhos econômico e ambiental. Na análise deste cenário base, o que fica evidente é que a melhor opção de compra de jumbos, independentemente do processo de conversão, é dos jumbos oriundos da Alemanha para ambos os produtos. Tal decisão de compra é justificada pelo fato de que os valores de $SS_{i,j,z}$, independentemente do processo de conversão ser SR ou LW+LS, serem superiores aos coeficientes de ecoeficiência no caso de compras vindas com jumbos dos EUA. Tendo em vez vista a melhor opção de compra de jumbos, sabendo-se que o componente econômico para conversão em processo SR é mais vantajoso que no processo LW+LS e que não há diferenças significativas entre eles do ponto de vista ambiental, a implicação na decisão de utilização do processo de conversão SR segue também refletida em coeficientes de ecoeficiência mais altos para cenários com processo de conversão SR em Manaus. Em suma, o que se reflete com o resultado final é uma clara classificação quantitativa, segundo critérios de ecoeficiência, dos melhores cenários para tomada de decisão quanto à compra de matéria-prima e escolha de processo produtivo.

GRÁFICO 6 – RESULTADOS DE SINGLE-SCORE PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS.



FONTE: o Autor (2024).

TABELA 6 – ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS.

i	j	z	Parâmetro	$N_{i,j,z}$	R_{α}	$N_{\alpha,i,j,z}$	$P_{\alpha,i,j,z}$	$W_{\alpha,i,j,z}$	Correlação	$SS_{i,j,z}$				
A	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	2,0006	1,6030	0,8012	0,25	0,2003	Inversa	0,6515				
			ROS _{i,j,z}	9,0%	17,1%	0,5283	0,25	0,1321	Direta					
			kWh de energia elétrica total	0,5551	0,4703	0,8472	0,10	0,0847	Inversa					
			% de energia de fontes renováveis	34,2%	34,2%	1,0000	0,10	0,1000	Direta					
			CO ₂ -eq. emitido total	0,1556	0,1164	0,7478	0,10	0,0748	Inversa					
			MCI _{i,j,z}	0,1602	0,5379	0,2978	0,20	0,0596	Direta					
			CPV _{i,j,z}	1,8409	1,6030	0,8708	0,25	0,2177	Inversa					
			ROS _{i,j,z}	12,3%	17,1%	0,7178	0,25	0,1795	Direta					
			kWh de energia elétrica total	0,5287	0,4703	0,8896	0,10	0,0890	Inversa					
			% de energia de fontes renováveis	34,2%	34,2%	1,0000	0,10	0,1000	Direta					
A	EUA	SR	CO ₂ -eq. emitido total	0,1556	0,1164	0,7478	0,10	0,0748	Inversa	0,7205				
			MCI _{i,j,z}	0,1602	0,5379	0,2978	0,20	0,0596	Direta					
			CPV _{i,j,z}	1,7628	1,6030	0,9094	0,25	0,2273	Inversa					
			ROS _{i,j,z}	13,9%	17,1%	0,8105	0,25	0,2026	Direta					
			kWh de energia elétrica total	0,4939	0,4703	0,9524	0,10	0,0952	Inversa					
			% de energia de fontes renováveis	7,5%	34,2%	0,2209	0,10	0,0221	Direta					
			CO ₂ -eq. emitido total	0,1164	0,1164	1,0000	0,10	0,1000	Inversa					
			MCI _{i,j,z}	0,5379	0,5379	1,0000	0,20	0,2000	Direta					
			A	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	2,0006	1,6030	0,8012		0,25	0,2003	Inversa	0,8473
						ROS _{i,j,z}	9,0%	17,1%	0,5283		0,25	0,1321	Direta	
kWh de energia elétrica total	0,5551	0,4703				0,8472	0,10	0,0847	Inversa					
% de energia de fontes renováveis	34,2%	34,2%				1,0000	0,10	0,1000	Direta					
CO ₂ -eq. emitido total	0,1556	0,1164				0,7478	0,10	0,0748	Inversa					
MCI _{i,j,z}	0,1602	0,5379				0,2978	0,20	0,0596	Direta					
CPV _{i,j,z}	1,8409	1,6030				0,8708	0,25	0,2177	Inversa					
ROS _{i,j,z}	12,3%	17,1%				0,7178	0,25	0,1795	Direta					
kWh de energia elétrica total	0,5287	0,4703				0,8896	0,10	0,0890	Inversa					
% de energia de fontes renováveis	34,2%	34,2%				1,0000	0,10	0,1000	Direta					

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 6 – ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS (Cont.).

i	j	z	Parâmetro	$N_{i,j,z}$	R_{α}	$N_{\alpha,i,j,z}$	$P_{\alpha,i,j,z}$	$W_{\alpha,i,j,z}$	Correlação	$SS_{i,j,z}$
A	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,6030	1,6030	1,0000	0,25	0,2500	Inversa	0,9221
			ROS _{i,j,z}	17,1%	17,1%	1,0000	0,25	0,2500	Direta	
			kWh de energia elétrica total	0,4703	0,4703	1,0000	0,10	0,1000	Inversa	
			% de energia de fontes renováveis	7,5%	34,2%	0,2209	0,10	0,0221	Direta	
			CO ₂ -eq. emitido total	0,1164	0,1164	1,0000	0,10	0,1000	Inversa	
			MCl _{i,j,z}	0,5379	0,5379	1,0000	0,20	0,2000	Direta	
B	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	2,7502	2,4135	0,8776	0,25	0,2194	Inversa	0,7324
			ROS _{i,j,z}	17,2%	22,2%	0,7757	0,25	0,1939	Direta	
			kWh de energia elétrica total	0,5551	0,4703	0,8472	0,10	0,0847	Inversa	
			% de energia de fontes renováveis	34,2%	34,2%	1,0000	0,10	0,1000	Direta	
			CO ₂ -eq. emitido total	0,1556	0,1164	0,7478	0,10	0,0748	Inversa	
			MCl _{i,j,z}	0,1602	0,5379	0,2978	0,20	0,0596	Direta	
B	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	2,5910	2,4135	0,9315	0,25	0,2329	Inversa	0,7766
			ROS _{i,j,z}	19,6%	22,2%	0,8818	0,25	0,2204	Direta	
			kWh de energia elétrica total	0,5287	0,4703	0,8896	0,10	0,0890	Inversa	
			% de energia de fontes renováveis	34,2%	34,2%	1,0000	0,10	0,1000	Direta	
			CO ₂ -eq. emitido total	0,1556	0,1164	0,7478	0,10	0,0748	Inversa	
			MCl _{i,j,z}	0,1602	0,5379	0,2978	0,20	0,0596	Direta	

FONTE: o Autor (2024).

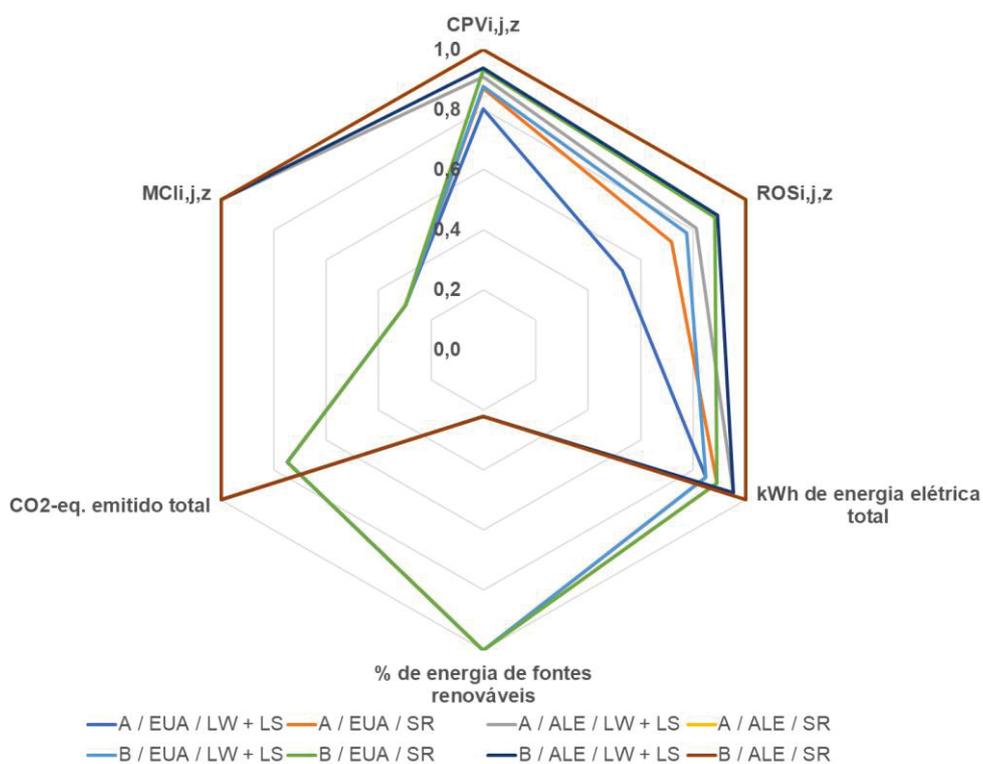
TABELA 6 – ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS DIFERENTES CENÁRIOS MODELADOS (Cont.).

i	j	z	Parâmetro	$N_{i,j,z}$	R_{α}	$N_{\alpha,i,j,z}$	$P_{\alpha,i,j,z}$	$W_{\alpha,i,j,z}$	Correlação	$SS_{i,j,z}$
B	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	2,5727	2,4135	0,9381	0,25	0,2345	Inversa	0,8473
			ROS _{i,j,z}	19,9%	22,2%	0,8939	0,25	0,2235	Direta	
			kWh de energia elétrica total	0,4939	0,4703	0,9524	0,10	0,0952	Inversa	
			% de energia de fontes renováveis	7,5%	34,2%	0,2209	0,10	0,0221	Direta	
			CO ₂ -eq. emitido total	0,1164	0,1164	1,0000	0,10	0,1000	Inversa	
			MCI _{i,j,z}	0,5379	0,5379	1,0000	0,20	0,2000	Direta	
			CPV _{i,j,z}	2,4135	2,4135	1,0000	0,25	0,2500	Inversa	
			ROS _{i,j,z}	22,2%	22,2%	1,0000	0,25	0,2500	Direta	
			kWh de energia elétrica total	0,4703	0,4703	1,0000	0,10	0,1000	Inversa	
			% de energia de fontes renováveis	7,5%	34,2%	0,2209	0,10	0,0221	Direta	
B	ALE	SR	CO ₂ -eq. emitido total	0,1164	0,1164	1,0000	0,10	0,1000	Inversa	0,9220
			MCI _{i,j,z}	0,5379	0,5379	1,0000	0,20	0,2000	Direta	

FONTE: o Autor (2024).

Um ponto importante é que a ferramenta e modelo construídos foram aplicados num estudo de caso com fitas adesivas para CEAs, mas podem ser utilizados para diversos outros tipos de fitas adesivas, considerando outras opções de países fornecedores de jumbos (p.ex.: plantas na Ásia ou outros países da Europa). Os critérios adotados suportam a extrapolação da aplicação da ferramenta para diversos outros cenários dentro da indústria de fitas adesivas, onde dados numéricos mudariam, mas a estrutura da modelagem da ferramenta não.

GRÁFICO 7 – COMPARATIVO DE COMPONENTES NORMALIZADOS PARA SINGLE-SCORE NOS DIFERENTES CENÁRIOS.



FONTE: o Autor (2024).

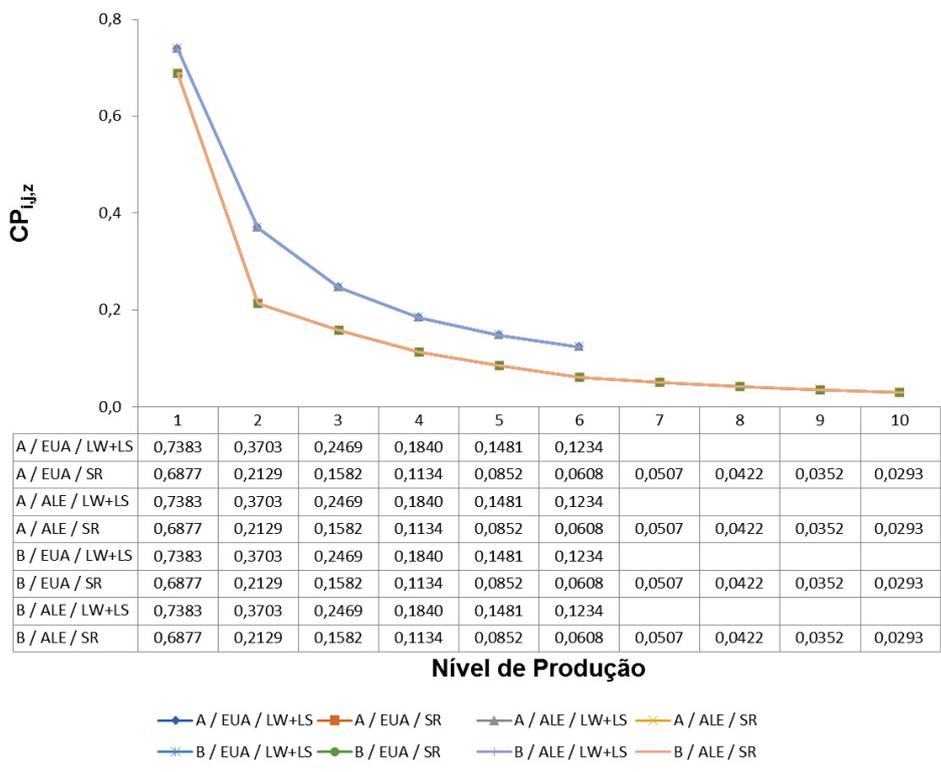
6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Neste capítulo apresentam-se os resultados de análise de sensibilidade de desempenho econômico e de *single-score* como medida da ecoeficiência. Como os dados de desempenho ambiental foram coletados prontos, para estes não há análise de sensibilidade de forma isolada.

6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA DESEMPENHO ECONÔMICO

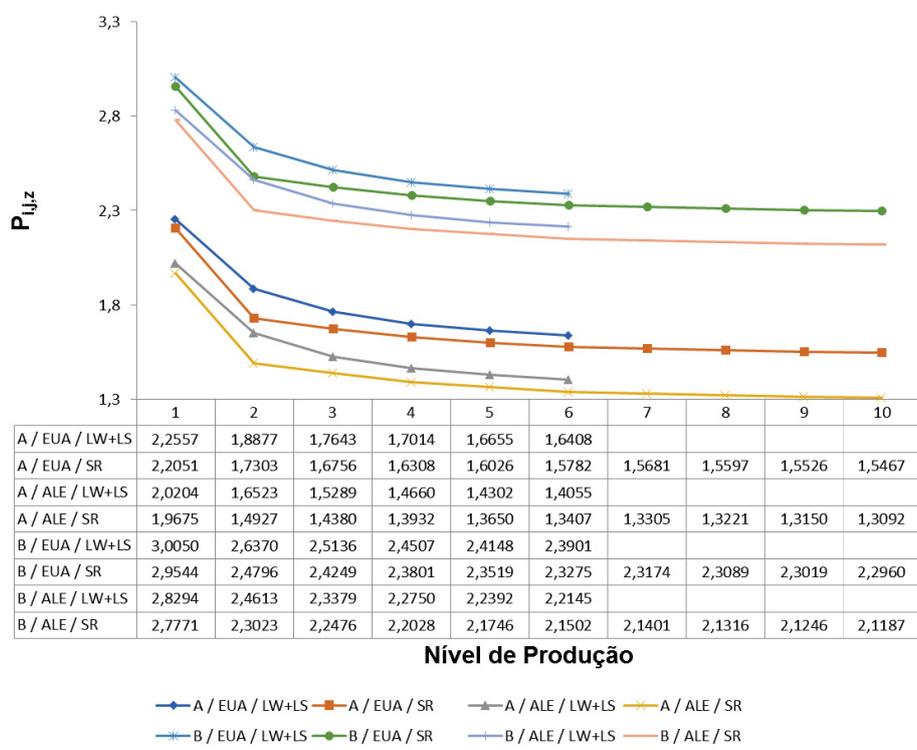
Para melhor compreender o efeito do volume de produção nos custos, *ceteris paribus*, foi realizada uma análise de sensibilidade para quantidades incrementais de produto. Os resultados são apresentados na Tabela 7 e nos Gráficos 8 e 9, onde é demonstrado que, para produção incremental, independentemente do processo de conversão, tanto $CP_{i,j,z}$ quanto $P_{i,j,z}$ tendem a diminuir para ambos os produtos A e B. Isso ocorre porque os custos fixos do centro de conversão são diluídos em um maior número de unidades, diminuindo progressivamente os custos por rolo acabado com maiores quantidades de produção (LOPES, 2015; BOONS, 1998). A faixa de produção originalmente simulada, com produção atual próxima do nível 3, correspondente à quantidade de material fabricado por LW+LS em jornada de um turno de produção no estudo de caso. Para SR, a produção pode ser consideravelmente maior. Com relação a $Mr_{i,z}$, na produção imediatamente acima do nível 1, o processo SR começa a ter custos de produção inferiores aos de LW+LS. Por outro lado, para uma produção muito baixa como no nível 1, os custos de processo são comparáveis, pois o volume de produção baixo não compensa o ganho de produtividade do processo. Com uma produção baixa, a máquina de SR terá muita ociosidade, de modo que $Mr_{i,z}$ será afetado negativamente, encarecendo o custo do processo produtivo.

GRÁFICO 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA $CP_{i,j,z}$.



FONTE: o Autor (2024).

GRÁFICO 9 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA $P_{i,j,z}$.



FONTE: o Autor (2024).

TABELA 7 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA CUSTOS EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE PRODUÇÃO.

		Nível Relativo de Produção													
i	j	z	Variável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	EUA	LW+LS	$Mr_{i,z}$	10,2973	5,1644	3,4430	2,5664	2,0658	1,7215	-	-	-	-		
			$t_{i,z}$	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	-	-	-	-
			$CP_{i,j,z}$	0,7383	0,3703	0,2469	0,1840	0,1481	0,1234	-	-	-	-	-	-
A	EUA	SR	$P_{i,j,z}$	2,2557	1,8877	1,7643	1,7014	1,6655	1,6408	-	-	-	-		
			$Mr_{i,z}$	21,6940	6,7164	4,9893	3,5761	2,6871	1,9190	1,5991	1,3326	1,1106	0,9254		
			$t_{i,z}$	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	
A	ALE	LW+LS	$CP_{i,j,z}$	0,6877	0,2129	0,1582	0,1134	0,0852	0,0608	0,0507	0,0422	0,0352	0,0293		
			$P_{i,j,z}$	2,2051	1,7303	1,6756	1,6308	1,6026	1,5782	1,5681	1,5597	1,5526	1,5467		
			$Mr_{i,z}$	10,2973	5,1644	3,4430	2,5664	2,0658	1,7215	-	-	-	-	-	
A	ALE	SR	$t_{i,z}$	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	
			$CP_{i,j,z}$	0,7383	0,3703	0,2469	0,1840	0,1481	0,1234	-	-	-	-	-	
			$P_{i,j,z}$	2,0204	1,6523	1,5289	1,4660	1,4302	1,4055	-	-	-	-	-	
A	ALE	SR	$Mr_{i,z}$	21,6940	6,7164	4,9893	3,5761	2,6871	1,9190	1,5991	1,3326	1,1106	0,9254		
			$t_{i,z}$	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	
			$CP_{i,j,z}$	0,6877	0,2129	0,1582	0,1134	0,0852	0,0608	0,0507	0,0422	0,0352	0,0293		
			$P_{i,j,z}$	2,2051	1,7303	1,6756	1,6308	1,6026	1,5782	1,5681	1,5597	1,5526	1,5467		

Fonte: o Autor (2024).

TABELA 7 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA CUSTOS EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE PRODUÇÃO (Cont.).

		Nível Relativo de Produção													
i	j	z	Variável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
B	EUA	LW+LS	$Mr_{i,z}$	10,2973	5,1644	3,4430	2,5664	2,0658	1,7215	-	-	-	-		
			$t_{i,z}$	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	-	-	-	-
			$CP_{i,j,z}$	2,3400	0,3703	2,3400	2,3400	2,3400	2,3400	2,3400	2,3400	-	-	-	-
B	EUA	SR	$P_{i,j,z}$	4,6067	2,6370	4,6067	4,6067	4,6067	4,6067	4,6067	-	-	-	-	
			$Mr_{i,z}$	21,6940	6,7164	4,9893	3,5761	2,6871	1,9190	1,5991	1,3326	1,1106	1,1106	0,9254	
			$t_{i,z}$	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317
B	ALE	LW+LS	$CP_{i,j,z}$	0,6877	0,2129	0,1582	0,1134	0,0852	0,0608	0,0608	0,0507	0,0422	0,0352	0,0293	
			$P_{i,j,z}$	2,9544	2,4796	2,4249	2,3801	2,3519	2,3275	2,3174	2,3089	2,3019	2,2960	-	-
			$Mr_{i,z}$	10,2973	5,1644	3,4430	2,5664	2,0658	1,7215	-	-	-	-	-	-
B	ALE	SR	$t_{i,z}$	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	0,0717	
			$CP_{i,j,z}$	0,7383	0,3703	0,2469	0,1840	0,1481	0,1234	-	-	-	-	-	-
			$P_{i,j,z}$	2,8294	2,4613	2,3379	2,2750	2,2392	2,2145	-	-	-	-	-	-
B	ALE	SR	$Mr_{i,z}$	21,6940	6,7164	4,9893	3,5761	2,6871	1,9190	1,5991	1,3326	1,1106	1,1106	0,9254	
			$t_{i,z}$	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317
			$CP_{i,j,z}$	0,6877	0,2129	0,1582	0,1134	0,0852	0,0608	0,0608	0,0507	0,0422	0,0352	0,0293	
			$P_{i,j,z}$	2,7771	2,3023	2,2476	2,2028	2,1746	2,1502	2,1401	2,1316	2,1246	2,1187		

FONTE: o Autor (2024).

Da perspectiva de produtividade, SR é o processo de conversão mais recomendado. Com relação a $CP_{i,j,z}$, SR tende a ter vantagem em todas as comparações. Isto acontece porque os custos mais elevados do processo SR são compensados por uma maior produção com melhor produtividade. Tendo em vista fatores não financeiros, como disponibilidade de mão-de-obra qualificada, complexidade de manutenção e assim por diante, para baixos níveis de produção LW+LS pode ser uma opção atrativa, uma vez que as máquinas são menos exigentes e $CP_{i,j,z}$ é próximo para ambos os processos de conversão. Para altas demandas, SR parece ser a melhor opção, embora neste processo o centro de conversão deva estar preparado para operar maquinário mais complexo.

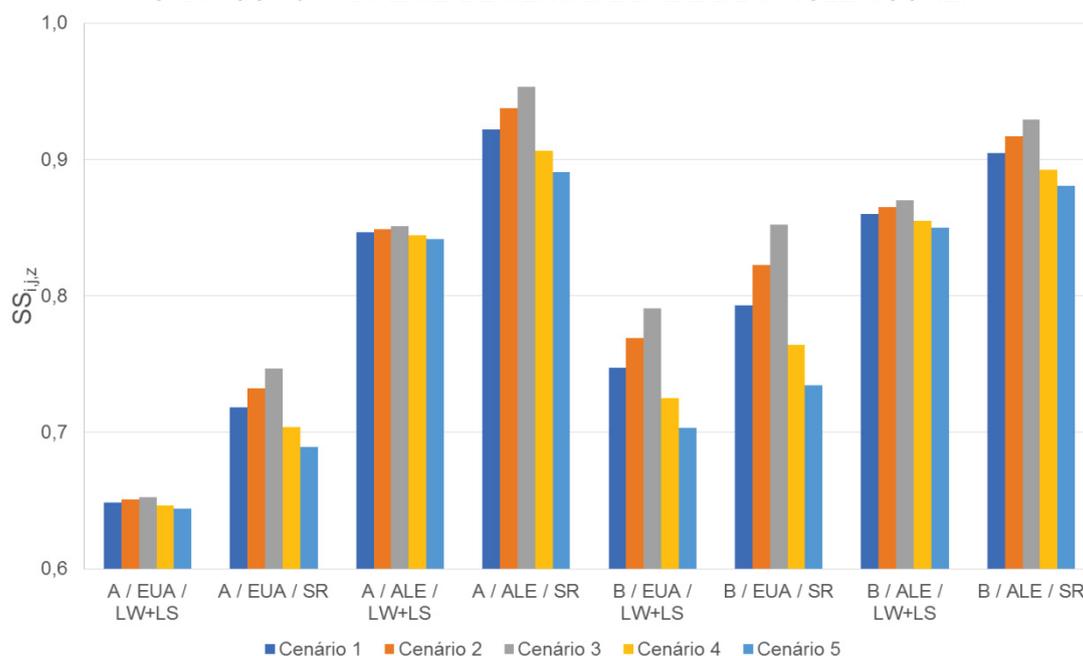
6.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO SINGLE-SCORE

Para melhor compreender o efeito de diferentes aspectos de análise decisória utilizando o coeficiente de ecoeficiência foi realizada uma análise de sensibilidade mediante a variação dos pesos $P_{i,j,z}$ das categorias a serem agregadas no *single-score*. Variando-se os pesos foram simulados cenários onde a empresa do estudo de caso estaria em situações em que poderia privilegiar aspectos econômicos ou ambientais na análise de compra e manufatura, bem como, por exemplo, enfatizando aspectos específicos. Os dados foram simulados na análise de sensibilidade de *single-score* conforme apresentado na Tabela 8.

O cenário 1 da análise de sensibilidade é o mesmo que o cenário base anterior, com pesos alocados 50% nas variáveis da categoria econômica e 50% nas variáveis na categoria de desempenho ambiental. No cenário 2 foi simulado um caso com peso 60% em desempenho econômico e peso 40% em desempenho ambiental, onde há preferência pelos resultados financeiros a sustentabilidade ambiental do negócio. O cenário 3 foi simulado considerando um caso com peso 70% em desempenho econômico e peso 30% em desempenho ambiental, onde há forte preferência pelos resultados financeiros a sustentabilidade ambiental do negócio. Tal caso simula momentos nos quais

geralmente há ameaça comercial severa de perda de negócios ou então nos quais a empresa desejaria fazer apenas o necessário a manutenção do negócio em termos de sustentabilidade ambiental. No cenário 4 foi simulado um caso com peso 40% em desempenho econômico e peso 60% em desempenho ambiental, onde há preferência pelos resultados de sustentabilidade ambiental ao foco financeiro do negócio. Tal caso simula momentos nos quais geralmente há segurança nas relações comerciais com clientes, onde a empresa teria tempo e recursos disponíveis para mudar o foco na direção de melhorias de desempenho ambiental sem preocupação acentuada em relação a questão financeira de sua operação. O cenário 5 foi simulado considerando um caso com peso 70% em desempenho ambiental e peso 30% em desempenho econômico, onde há forte preferência pelo desempenho ambiental do negócio. Tal caso simula situações de clientes técnica e ambientalmente exigentes, com pouca concorrência técnica no mercado e fortes barreiras de entrada. Ou seja, no cenário 5 abordam-se situações de alta exigência técnica porém acompanhadas de alto retorno financeiro. O Gráfico 10 apresenta os valores de $SS_{i,j,z}$ para os diferentes cenários simulados na análise de sensibilidade. A Tabela 8 apresenta os resultados detalhados da análise de sensibilidade do single-score.

GRÁFICO 10 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SINGLE-SCORE.



FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE.

Cenário 1: 50% ambiental + 50% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico	A	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8012	0,25	0,2003	0,6515
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,5283	0,25	0,1321	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,10	0,0847	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,10	0,0748	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,20	0,0596	
Econômico	A	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	0,8708	0,25	0,2177	0,7205
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7178	0,25	0,1795	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8896	0,10	0,0890	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,10	0,0748	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,20	0,0596	
Econômico	A	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,9094	0,25	0,2273	0,8473
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8105	0,25	0,2026	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,9524	0,10	0,0952	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,10	0,0221	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 1: 50% ambiental + 50% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico	A	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,25	0,2500	0,9221
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,25	0,2500	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,10	0,0221	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	
Econômico	B	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8776	0,25	0,2194	0,7324
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7757	0,25	0,1939	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,10	0,0847	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,10	0,0748	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,20	0,0596	
Econômico	B	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	0,9315	0,25	0,2329	0,7766
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8818	0,25	0,2204	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8896	0,10	0,0890	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,10	0,0748	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,20	0,0596	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 1: 50% ambiental + 50% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	Na	Pa	Wa	SS _{i,j,z}
Econômico	B	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,9381	0,25	0,2345	0,8753
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8939	0,25	0,2235	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,9524	0,10	0,0952	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,10	0,0221	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				MCl _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	
Econômico	B	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,25	0,2500	0,9221
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,25	0,2500	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,10	0,0221	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,10	0,1000	
Ambiental				MCl _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	
Cenário 2: 40% ambiental + 60% econômico								
Econômico	A	EUA	LW+LS	CPV _{i,j,z}	0,8012	0,30	0,2404	0,6541
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,5283	0,30	0,1585	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,08	0,0678	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,08	0,0598	
Ambiental				MCl _{i,j,z}	0,2978	0,16	0,0476	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 2: 40% ambiental + 60% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico	A	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	0,8708	0,30	0,2612	0,7352
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7178	0,30	0,2154	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8896	0,08	0,0712	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,08	0,0598	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,16	0,0476	
Econômico	A	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,9094	0,30	0,2728	0,8498
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8105	0,30	0,2431	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,9524	0,08	0,0762	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,08	0,0177	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,16	0,1600	
Econômico	A	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,30	0,3000	0,9377
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,30	0,3000	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,08	0,0177	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,16	0,1600	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 2: 40% ambiental + 60% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N_a	P_a	W_a	SS_{i,j,z}
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,8776	0,30	0,2633	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7757	0,30	0,2327	
Ambiental	B	EUA	LW + LS	kWh de energia elétrica total	0,8472	0,08	0,0678	0,7512
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,08	0,0598	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,16	0,0476	
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,9315	0,30	0,2794	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8818	0,30	0,2645	
Ambiental	B	EUA	SR	kWh de energia elétrica total	0,8896	0,08	0,0712	0,8026
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,08	0,0598	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,16	0,0476	
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,9381	0,30	0,2814	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8939	0,30	0,2682	
Ambiental	B	ALE	LW + LS	kWh de energia elétrica total	0,9524	0,08	0,0762	0,8835
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,08	0,0177	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,08	0,0800	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,16	0,1600	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 2: 40% ambiental + 60% econômico									
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}	
Econômico	B	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,30	0,3000	0,9377	
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,30	0,3000		
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,08	0,0800		
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,08	0,0177		
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,08	0,0800		
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,16	0,1600		
Cenário 3: 30% ambiental + 70% econômico									
Econômico	A	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8012	0,35	0,2804	0,6568	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,5283	0,35	0,1849		
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,06	0,0508		
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,06	0,0600		
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,06	0,0449		
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,12	0,0357		
Econômico		A	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	0,8708	0,35		0,3048
Econômico					ROS _{i,j,z}	0,7178	0,35		0,2512
Ambiental					kWh de energia elétrica total	0,8896	0,06		0,0534
Ambiental					% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,06		0,0600
Ambiental					CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,06		0,0449
Ambiental					MCI _{i,j,z}	0,2978	0,12		0,0357

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 3: 30% ambiental + 70% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	Na	Pa	Wa	SS _{i,j,z}
Econômico	A	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,9094	0,35	0,3183	0,8523
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8105	0,35	0,2837	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,9524	0,06	0,0571	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,06	0,0133	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,12	0,1200	
Econômico	A	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,35	0,3500	0,9533
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,35	0,3500	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,06	0,0133	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,12	0,1200	
Econômico	B	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8776	0,35	0,3072	0,7701
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7757	0,35	0,2715	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,06	0,0508	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,06	0,0449	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,12	0,0357	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 3: 30% ambiental + 70% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,9315	0,35	0,3260	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8818	0,35	0,3086	
Ambiental	B	EUA	SR	kWh de energia elétrica total	0,8896	0,06	0,0534	0,8286
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,06	0,0449	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,12	0,0357	
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,9381	0,35	0,3283	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8939	0,35	0,3129	
Ambiental	B	ALE	LW + LS	kWh de energia elétrica total	0,9524	0,06	0,0571	0,8916
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,06	0,0133	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,12	0,1200	
Econômico				CPV _{i,j,z}	1,0000	0,35	0,3500	0,9533
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,35	0,3500	
Ambiental	B	ALE	SR	kWh de energia elétrica total	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,06	0,0133	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,06	0,0600	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,12	0,1200	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 4: 60% ambiental + 40% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico	A	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8012	0,20	0,1602	0,6488
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,5283	0,20	0,1057	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,12	0,1017	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,12	0,0897	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,24	0,0715	
Econômico	A	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	0,8708	0,20	0,1742	0,7057
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7178	0,20	0,1436	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8896	0,12	0,1068	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,12	0,0897	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,24	0,0715	
Econômico	A	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,9094	0,20	0,1819	0,8448
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8105	0,20	0,1621	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,9524	0,12	0,1143	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,12	0,0265	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,24	0,2400	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 4: 60% ambiental + 40% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	Na	Pa	Wa	SS _{i,j,z}
Econômico	A	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	0,9065
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,12	0,0265	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,24	0,2400	
Econômico	B	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8776	0,20	0,1755	0,7135
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7757	0,20	0,1551	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,12	0,1017	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,12	0,0897	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,24	0,0715	
Econômico	B	EUA	SR	CPV _{i,j,z}	0,9315	0,20	0,1863	0,7506
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8818	0,20	0,1764	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8896	0,12	0,1068	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,12	0,0897	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,24	0,0715	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 4: 60% ambiental + 40% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	Na	Pa	Wa	SS _{i,j,z}
Econômico	B	ALE	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,9381	0,20	0,1876	0,8672
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8939	0,20	0,1788	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,9524	0,12	0,1143	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,12	0,0265	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,24	0,2400	
Econômico	B	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	0,9065
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,20	0,2000	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,12	0,0265	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,12	0,1200	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,24	0,2400	
Cenário 5: 70% ambiental + 30% econômico								
Econômico	A	EUA	LW+LS	CPV _{i,j,z}	0,8012	0,15	0,1202	0,6461
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,5283	0,15	0,0792	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,14	0,1186	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,14	0,1400	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,14	0,1047	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,28	0,0834	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 5: 70% ambiental + 30% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,8708	0,15	0,1306	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7178	0,15	0,1077	
Ambiental	A	EUA	SR	kWh de energia elétrica total	0,8896	0,14	0,1245	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,14	0,1400	0,6909
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,14	0,1047	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	0,2978	0,28	0,0834	
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,9094	0,15	0,1364	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8105	0,15	0,1216	
Ambiental	A	ALE	LW + LS	kWh de energia elétrica total	0,9524	0,14	0,1333	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,14	0,0309	0,8422
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,14	0,1400	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,28	0,2800	
Econômico				CPV _{i,j,z}	1,0000	0,15	0,1500	
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,15	0,1500	
Ambiental	A	ALE	SR	kWh de energia elétrica total	1,0000	0,14	0,1400	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,14	0,0309	0,8909
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,14	0,1400	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,28	0,2800	

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 5: 70% ambiental + 30% econômico									
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N_a	P_a	W_a	SS_{i,j,z}	
Econômico	B	EUA	LW + LS	CPV _{i,j,z}	0,8776	0,15	0,1316	0,6947	
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,7757	0,15	0,1164		
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8472	0,14	0,1186		
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,14	0,1400		
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,14	0,1047		
Ambiental				MCl _{i,j,z}	0,2978	0,28	0,0834		
Econômico				CPV _{i,j,z}	0,9315	0,15	0,1397		0,7246
Econômico				ROS _{i,j,z}	0,8818	0,15	0,1323		
Ambiental				kWh de energia elétrica total	0,8896	0,14	0,1245		
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	1,0000	0,14	0,1400		
Ambiental	CO ₂ -eq. emitido total	0,7478	0,14	0,1047					
Ambiental	MCl _{i,j,z}	0,2978	0,28	0,0834					
Econômico	CPV _{i,j,z}	0,9381	0,15	0,1407	0,8591				
Econômico	ROS _{i,j,z}	0,8939	0,15	0,1341					
Ambiental	kWh de energia elétrica total	0,9524	0,14	0,1333					
Ambiental	% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,14	0,0309					
Ambiental	CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,14	0,1400					
Ambiental	MCl _{i,j,z}	1,0000	0,28	0,2800					

FONTE: o Autor (2024).

TABELA 8 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA SINGLE-SCORE (Cont.).

Cenário 5: 70% ambiental + 30% econômico								
Tipo de Parâmetro	i	j	z	Variável	N _a	P _a	W _a	SS _{i,j,z}
Econômico	B	ALE	SR	CPV _{i,j,z}	1,0000	0,15	0,1500	0,8909
Econômico				ROS _{i,j,z}	1,0000	0,15	0,1500	
Ambiental				kWh de energia elétrica total	1,0000	0,14	0,1400	
Ambiental				% de energia de fontes renováveis	0,2209	0,14	0,0309	
Ambiental				CO ₂ -eq. emitido total	1,0000	0,14	0,1400	
Ambiental				MCI _{i,j,z}	1,0000	0,28	0,2800	

FONTE: o Autor (2024).

Através dos resultados obtidos dentro dos cenários simulados na análise de sensibilidade para ecoeficiência, observou-se que em todos os casos a opção de maior ecoeficiência é a compra de jumbos, tanto do produto A quanto do produto B, da planta da Alemanha e conversão local no processo SR, sendo, portanto um padrão coerente com os resultados anteriormente encontrados.

Verificou-se que em cenários onde se coloca mais peso nos componentes de desempenho econômico os valores máximos de $SS_{i,j,z}$ são atingidos para avaliações considerando ambas as plantas. Em contrapartida, nos cenários onde se coloca mais peso nos componentes de desempenho ambiental os valores máximos de $SS_{i,j,z}$ são cada vez menores considerando ambas as plantas. Os maiores valores de máxima ecoeficiência são atingidos no Cenário 3 (peso 30% ambiental e 70% econômico) enquanto os menores valores de máxima ecoeficiência são atingidos no Cenário 5 (peso 70% ambiental e 30% econômico). Isso sugere que a empresa do estudo de caso poderia estar mais preparada para enfrentar desafios de curto prazo no âmbito econômico que no âmbito ambiental. Esse dado anda em linha com os resultados de RBL e RSL, conforme considerações do Capítulo 4, onde se explicita que as empresas de fitas adesivas de maneira geral ainda estão em estágio inicial no que tange a temas de economia circular, sustentabilidade ambiental e, ao mesmo tempo, de alto desempenho técnico. Aliado a isso há o fato de que aquilo que se está inovando em termos de novos produtos e processos, por hora, está sendo primordialmente patenteado, não necessariamente publicado em artigos acadêmicos ou mesmo posto em prática no nível de produção industrial.

Do ponto de vista de desempenho econômico, para todos os cenários avaliados, o processo de conversão SR traz maior ecoeficiência que LW+LS, visto que impulsiona um melhor desempenho financeiro e desempenho ambiental equivalente. O desempenho ambiental depende fortemente da planta de onde se adquirem os jumbos, pois as variáveis presentes nessa categoria, a saber consumo de energia elétrica, emissões totais de CO₂ equivalente e índice de circularidade, são fortemente dependentes dos processos produtivos dos jumbos, pois estes carregam os maiores passivos ambientais em potencial e utilizam a maior quantidade de recursos ambientais no cenário modelado.

Nesta análise de sensibilidade foram avaliados apenas cinco cenários propostos. No entanto, a ferramenta construída admite a possibilidade de se estudarem n diferentes cenários, tanto do ponto de vista econômico quanto

ambiental, dando possibilidades de avaliação de ecoeficiência bastante diversas. Conforme necessidade da empresa do estudo de caso, diferentes pesos podem ser atribuídos as variáveis propostas, bem como mesmo um rearranjo das variáveis e categorias é possível, de maneira a ter-se uma avaliação conforme seja necessário e dentro do escopo em estudo no momento.

Assim como ressaltado para o cenário padrão modelado na análise de ecoeficiência, a análise de sensibilidade de $SS_{i,j,z}$ também traz comparações relativas de coeficientes, elencando numa mesma base comparativa, dentre os cenários estudados, quais aqueles com maior grau de ecoeficiência, e, portanto, mais indicados num processo de tomada de decisão.

7 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi construída uma ferramenta de análise de ecoeficiência aplicada à indústria de fitas adesivas, analisando temas relativos a compras, cadeia de suprimentos e processos de conversão nos âmbitos de desempenho ambiental e econômico de maneira integrada. A ferramenta foi validada num estudo de caso, aplicando-a no cenário de importação, conversão e distribuição de fitas adesivas para CEAs.

Foram feitos, no âmbito de desempenho econômico, comparação de custos de jumbos, custos de logística nas áreas de importação, armazenagem e distribuição nacional, custos de manufatura em diferentes processos de conversão e modelagem de resultados financeiros desde faturamento até lucratividade da operação. No âmbito de desempenho ambiental, foram analisados parâmetros de gestão e consumo energético, emissões de CO₂, gestão de resíduos e cálculo do índice de circularidade para diversos casos. Os dados de desempenho econômico foram calculados diretamente a nível de produto enquanto os dados de desempenho ambiental foram calculados como valores médios por m² devido a serem informados pela empresa do estudo de caso a nível de planta de forma geral. As emissões de CO₂ escopo 3 ficaram restritas a dados de transporte.

Integrando os resultados de desempenho econômico e ambiental chegou-se a dados de single-score que mensurassem de forma quantitativa na forma de um índice o quão ecoeficiente determinado cenário de opção de compra de jumbos e escolha de processo de conversão seria. Mediante análises de sensibilidade, pode-se verificar (a) o quanto os custos dos produtos A e B estudados são sensíveis a variações de volume de produção em diferentes processos de conversão e (b) o quanto o índice de ecoeficiência muda em função de diferentes pesos atribuídos a variáveis e categorias econômicas ou ambientais.

De maneira geral, tanto para o produto A quanto para o produto B estudados, a melhor tomada de decisão, conforme respaldado por todos os casos e análises de sensibilidade estudadas, compreende a compra de jumbos fabricados pela planta da Alemanha e conversão local em Manaus em processo de etapa única SR. Aqui têm-se os menores custos, maiores margens brutas de lucro, maior lucro líquido e, de forma geral, melhor desempenho ambiental devido a menor uso de

energia elétrica, menos emissões totais de CO₂ equivalente e regime operacional com maior grau de circularidade.

A ferramenta e modelagem construídas foram aplicadas num estudo de caso com fitas adesivas para CEAs, mas podem ser extrapoladas para aplicações em outros tipos de fitas adesivas e em diferentes cenários logísticos, visto que os critérios adotados admitem modelagens de outros materiais dentro da indústria de fitas adesivas.

7.1 POSSIBILIDADES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como possibilidade de estudos futuros, poderia-se incrementar a diversidade de materiais modelados (por exemplo, incluindo fitas crepe e de embalagem para o mercado de varejo, fitas dupla-face em geral etc.), trabalhar com modelagem de outros processos de conversão como, por exemplo, laminações, *die-cutting* e impressão, e considerar também outras fontes de jumbos, tais como plantas em outros países da Europa e da Ásia. Como a base de modelagem da ferramenta admite extrapolações, aumentar a complexidade de processos modelados bem como a quantidade de produtos analisados seria de grande valia no robustecimento da aplicação da ferramenta de análise de ecoeficiência construída bem como na melhoria e expansão da mesma. Além disso, como limitação da ferramenta, a modelagem permaneceu restrita a parte mecânica do processo produtivo como um todo, circunscrita a etapa de conversão. Para estudos futuros seria interessante englobar também a parte química do processo produtivo, compreendendo a produção dos adesivos em si e a etapa de *coating*, bem como aprofundar a análise mediante a inclusão de análises de ciclo de vida dos produtos estudados.

REFERÊNCIAS

- 3M Company. **3M 2022 Global Impact Report**. Disponível em: <https://multimedia.3m.com/mws/media/2191432O/2022-global-impact-report.pdf>. Acesso em: 05 set. 2022.
- AFERA. European Adhesive Tape Association. **Any shape, any size**. Disponível em: <https://www.afera.com/why-tape/any-tape-any-size.html>. Acesso em: 04 set. 2022.
- AFERA. European Adhesive Tape Association. Disponível em: <https://www.afera.com/>. Acesso em: 23 jan. 2022.
- AFERA. European Adhesive Tape Association. **Types of backings**. Disponível em: <https://www.afera.com/why-tape/about-tape/what-makes-a-tape/types-of-backings.html>. Acesso em: 04 set. 2022.
- AHMADI-DEHNOEI, A., GHASEMIRAD, S. Designing of desired nanocomposite pressure-sensitive adhesives through tailoring the structural characteristics of polysilsesquioxane-acrylic core-shell nanoparticles. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 11, 102973, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102973>. Acesso em 04 ago. 2022.
- ALLASIA, Mariana, AGUIRRE, Miren, GUGLIOTTA, Luis M., MINARI, Roque J. High biobased content waterborne latexes stabilized with casein. **Progress in Organic Coatings** 168, 106870, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106870>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- ARJALIÈS, Diane-Laure, MUNDY, Julia. The use of management control systems to manage CSR strategy: A levers of control perspective. **Management Accounting Research** 24, 284–300, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.mar.2013.06.003>. Acesso em: 06 fev. 2023.
- ASI. Adhesives & Sealants Industry. **Manufacturing Pressure-Sensitive Adhesive Products: A Coating and Laminating Process**. Disponível em: <https://www.adhesivesmag.com/articles/86079-manufacturing-pressure-sensitive-adhesive-products-a-coating-and-laminating-process>. Acesso em: 23 jan. 2022.
- BADÍA, Adrián, AGIRRE, Amaia, BARANDIARAN, María J., LEIZA, Jose R. Easy removable and UV tunable biobased waterborne pressure sensitive adhesives. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 108, 102860, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102860>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- BAG, Surajit, YADAV, Gunjan, WOOD, Lincoln C., DHAMIJA, Pavitra, JOSHI, Sudhanshu. Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics. **Resources Policy** 68, 101776, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101776>. Acesso em: 05 fev. 2023.

BAGIATIS, V., Critchlow, G. W., Prince, D., Swang, S. The effect of atmospheric pressure plasma treatment (APPT) on the adhesive bonding of poly(methyl methacrylate) (PMMA)-to-glass using a polydimethylsiloxane (PDMS)-based adhesive. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 95, 102405, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102405>. Acesso em 04 ago. 2022.

BANDL, Christine, KERN, Wolfgang, SCHLÖGL, Sandra. Adhesives for “debonding-on-demand”: Triggered release mechanisms and typical applications. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 99, 102585, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102585>. Acesso em: 05 fev 2023.

BARUA, Limon, ZOU, Bo, ZHOU, Yan. Machine learning for international freight transportation management: A comprehensive review. **Research in Transportation Business & Management** 34, 100456, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100456>. Acesso em: 04 set. 2022.

BENEDEK, Istvan, FELDSTEIN, Mikhail M. **Fundamentals of Pressure Sensitivity**. Boca Raton: CRC Press, 2009. <https://doi.org/10.1201/9781420059380>.

BENEDEK, Istvan, FELDSTEIN, Mikhail M. **Technology of Pressure-Sensitive Adhesives and Products**. Boca Raton: CRC Press, 2009. <https://doi.org/10.1201/9781420059410>.

BOONS, Arnik. N. A. M. Product costing for complex manufacturing systems. **International Journal of Production Economics** 55 (3), 241-255. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00064-4). Acesso em: 19 nov. 2023.

BOSCH, Reif K. **Autoelektrik und Autoelektronik: Bordnetze, Sensoren und elektronische Systeme**; mit 43 Tab. 6th edn. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Wiesbaden; 2011.

BRADLEY, Ryan, JAWAHIR, I.S., BADURDEEN, Fazleena, ROUCH, Keith. A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. **Resources, Conservation and Recycling** 135, 141-149, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.017>. Acesso em: 05/02/2023.

BRASIL. **Lei Nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976**. Dispõe sobre as sociedades por ações. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1976.

BRASIL. **Lei Nº 11.638, de 28 de dezembro de 2007**. Altera e revoga dispositivos da Lei no 6.404, de 15 de dezembro de 1976, e da Lei no 6.385, de 7 de dezembro de 1976, e estende às sociedades de grande porte disposições relativas à elaboração e divulgação de demonstrações financeiras. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2007.

CALVO, Ivan Pricoli, DE ALMEIDA, José Mauro Bacellar, BISPO, Pedro Leão, FERREIRA, Wshington Luiz. **Orçamento Empresarial**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014.

CAN-DO NATIONAL TAPE. **Slitting**. Disponível em: <https://www.can-dotape.com/slitting/>. Acesso em: 23 jan. 2022.

CAN-DO NATIONAL TAPE. **Tape 101**. Disponível em: <https://www.can-dotape.com/adhesive-tape-consultant/tape-101/>. Acesso em: 04 set. 2022.

CERTOPLAST TECHNISCHE KLEBEBÄNDER GMBH. **Environment**. Disponível em: <https://certoplast.com/en/products/>. Acesso em: 05 set. 2022.

CERTOPLAST TECHNISCHE KLEBEBÄNDER GMBH. **Products**. Disponível em: <https://certoplast.com/en/company/umwelt/>. Acesso em: 05 set. 2022.

CERTOPLAST TECHNISCHE KLEBEBÄNDER GMBH. **Quality**. Disponível em: <https://certoplast.com/en/company/quality/>. Acesso em: 05 set. 2022.

CHEATHAM, C. B., CHEATHAM, L. R. Redesigning cost systems: Is standard costing obsolete? **Accounting Horizons** 10 (4), 23-31, 1996.

CHEN, Jin-Xiao, ZHANG, Youguo, ZHENG, Shilin. Ecoefficiency, environmental regulation opportunity costs, and interregional industrial transfers: Evidence from the Yangtze River Economic Belt in China. **Journal of Cleaner Production**, 233, 611-625, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.117>. Acesso em: 05 mai. 2024.

CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE (CFC – Brasil). **Resolução CFC N.º 1.437/13**. Brasília, 2013.

COROPLAST FRITZ MÜLLER GMBH & CO. KG. **Sustainability Report 2020**. Disponível em: <https://www.coroplast-group.com/en/sustainability/sustainability-reports>. Acesso em: 05 set. 2022.

COROPLAST FRITZ MÜLLER GMBH & CO. KG. **Wire harness tapes from Coroplast Tape**. Disponível em: <https://www.coroplast-tape.com/en-us/wire-harness-tape>. Acesso em: 05 set. 2022.

CRISTALDI, Domenico Andrea; YANAR, Fatih; MOSAYYEBI, Ali; GARCÍA-MANRIQUE, Pablo; STULZ, Eugen; CARUGO, Dario; ZHANG, Xunli. Easy-to-perform and cost-effective fabrication of continuous-flow reactors and their application for nanomaterials synthesis. **New BIOTECHNOLOGY** 47, 1-7, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.02.002>. Acesso em: 04 set. 2022.

DE SOUZA, E. D., KERBER, J. C., BOUZON, M., RODRIGUEZ, C. M. T. Performance evaluation of green logistics: Paving the way towards circular economy. **Cleaner Logistics and Supply Chain** 3, 100019, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100019>. Acesso em: 05 fev. 2023.

DROESBEKE, Martijn A., AKSAKAL, Resat, SIMULA, Alexandre, ASUA, José M., DU PREZ, Filip E. Biobased acrylic pressure-sensitive adhesives. **Progress in Polymer Science** 117, 101396, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101396>. Acesso em 05 set. 2022.

ECYCLE. O que é ecoeficiência? Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/ecoeficiencia/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The butterfly diagram: visualising the circular economy**, 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>. Acesso em: 05 fev. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity. Methodology.**, 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>. Acesso em: 05 fev. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity. Project Overview.**, 2015. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>. Acesso em: 05 fev. 2023.

EUROSTAT. **Impact of Covid-19 crisis on industrial production. EUROSTAT, 2022.** Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Impact of Covid-19 crisis on industrial production](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Impact_of_Covid-19_crisis_on_industrial_production). Acesso em: 06 jan. 2023.

FANG, Cheng, ZHU, Xinbao, CAO, Yunfeng, XU, Xu, WANG, Shifa, DONG, Xiaohong. Toward replacement of methyl methacrylate by sustainable bio-based isobornyl methacrylate in lates pressure sensitive adhesive. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 100, 102623, 2020. <https://doi.org/j.ijadhadh.2020.102623>. Acesso em: 05 set. 2022.

FENG, Xiaming, LI, Guoqiang. UV curable, flame retardant, and pressure-sensitive adhesives with two-way shape memory effect. **Polymer** 249, 124835, 2022. <https://doi.org/10.1065/j.polymer.2022.124835>. Acesso em: 05 set 2022.

FIA BUSINESS SCHOOL, 2021. Ecoeficiência: conceito, importância, benefícios e objetivos. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/ecoeficiencia/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

FROIO, Patrícia Jacomini, BEZERRA, Barbara Stolte. Environmental sustainability initiatives adopted by logistics service providers in a developing country e an overview in the Brazilian context. **Journal of Cleaner Production** 304, 126989, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126989>. Acesso em: 05 fev. 2023.

GAGLIARDI, Francesco, PALAIA, Domenico, AMBROGIO, Giuseppina. Energy consumption and CO₂ emissions of joining processes for manufacturing hybrid structures. **Journal of Cleaner Production** 228, 425-436, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.339>. Acesso em: 05 fev. 2023.

GAN, Nectar. **China's manufacturing hub Guangzhou locks down millions as Covid outbreak widens. CNN, 2022.** Disponível em: <https://edition.cnn.com/2022/11/09/china/china-covid-guangzhou-lockdown-intl-hnk/index.html>. Acesso em: 06 jan. 2023.

GARCÍA-SERNA, J., PÉREZ-BARRIGÓN, L., COCERO, M. J. New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering. **Chemical Engineering Journal** 133 (1-3), 7-30, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.02.028>. Acesso em: 12 fev. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Estudo De Caso: Fundamentação Científica - Subsídios Para Coleta e Análise de Dados - Como Redigir o Relatório.** São Paulo: Atlas, 2009.

GONÇALVES, Margarida, MONTEIRO, Helena, ITEN, Muriel. Life Cycle Assessment studies on lightweight materials for automotive applications - An overview. **Energy Reports**, 8 (3), 338-345, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.067>. Acesso em: 05 mai. 2024.

GROSS, Andreas, MAYER, Bernd, HAAG, Katharina. Circular Economy and Adhesive Bonding Technology, Part 1. **Adhes Adhes Sealants** 18, 14–17. 2021. <https://doi.org/10.1007/s35784-021-0374-3>. Acesso em: 23 jan. 2022.

GHEZZI & ANNONI. **FA300 Fully Automatic.** Disponível em: <https://www.gaweb.net/en/prodotto/fa300/>. Acesso em: 04 set. 2022.

GUZZETTI S.P.A. **LG500 Logger.** Disponível em: <http://www.guzzetti.com/en/prodotto/lg-500/>. Acesso em: 04 set. 2022.

GUZZETTI S.P.A. **Tecnisolvent. Coating and Laminating Lines.** Disponível em: <http://www.guzzetti.com/en/prodotto/tecnisolvent/>. Acesso em: 04 set. 2022.

HAASAN, Tariq, ALI, Yousaf, KHAN, Amin Ullah, PETRILLO, Antonella, DE FELICE, Fabio. Sustainable production of diapers and their potential outputs for the Pakistani market in the circular economy perspective. **Science of the Total Environment** 769, 145084, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145084>. Acesso em: 05 fev. 2023.

HALL, Casey, POLLARD, Martin Quinn, CASH, Joe. **Corporate China struggles with supply snags as COVID cases spread. REUTERS, 2022.** Disponível em: <https://www.reuters.com/world/china/corporate-china-struggles-with-supply-snags-demand-slump-covid-cases-spread-2022-12-21/>. Acesso em: 08 jan. 2023.

HALLACK, Elias, PERIS, Nestor Mario, LINDAHL, Mattias, SUNDIN, Erik. Systematic Design for Recycling Approach – Automotive Exterior Plastics. **Procedia CIRP** 105, 204-209, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.034>. Acesso em: 05 fev. 2023.

HEISLER, Paul, UTSCH, Daniel, KUHN, Marlene, FRANKE, Jörg. Optimization of wire harness assembly using human-robot-collaboration. **Procedia CIRP** 97, 260-265, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.235>. Acesso em: 09 ago. 2022.

HIGGINS-DUNN, Noah, MORGANTEEN, Jeff, REGINATO, Jason. **How China's Covid shutdowns keep hitting global supply chains**. **CNBC**, 2022. Disponível em: <https://www.cnbc.com/video/2022/08/19/how-chinas-covid-shutdowns-keep-hitting-global-supply-chains.html>. Acesso em: 06 jan. 2023.

HINTERWALDTNER, R. Radiation-curable silicone release coats. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 2, 91-93, 1984. [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(84\)90106-4](https://doi.org/10.1016/0143-7496(84)90106-4). Acesso em: 04 set. 2022.

HOLM, Stig-Olof, GÖRAN, Englund. Increased ecoefficiency and gross rebound effect: Evidence from USA and six European countries 1960-2002. **Ecological Economics**, 68 (3), 879-887, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.006>. Acesso em 05 mai. 2024.

IBÁÑEZ, V. Román, PUJOL, F. A., ORTEGA, S. García, PERPIÑÁN, J. M. Sanz. Collaborative robotics in wire harness spot taping process. **Computers in Industry** 125, 103370. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103370>. Acesso em: 04 ago. 2022.

IRFS - INTERNATIONAL FINANCIAL REPORTING STANDARDS. Disponível em: <https://www.ifrs.org/>. Acesso em: 05 set. 2022.

JULIANELLI, Viviane, CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão, SCAVARDA, Luiz Felipe, CRUZ, Stephanie Pinto de Mesquita Ferreira. Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. **Resources, Conservation & Recycling** 150, 104784, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104784>. Acesso em: 05 set. 2022.

KADIOGLU, Ferhat, ADAMS, Robert D. Flexible adhesives for automotive application under impact loading. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 56, 73–78, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.08.001>. Acesso em: 05 fev. 2023.

KATO, Jerry Miyoshi. **Formação e Administração de Preços**. Rio de Janeiro: FGV IDE Management, 2015.

KIM, Hyun-Joong, CZECH, Zbigniew, BARTKOWIAK, Marcin, SHIM, Gyu-Seong, KABATC, Janina, LICBARSKI, Adam. Study of UV-initiated polymerization and UV crosslinking of acrylic monomers mixture for the production of solvent-free pressure-sensitive adhesive films. **Polymer Testing** 105, 107424, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107424>. Acesso em: 05 fev. 2023.

KNOLL, Dino, PRÜGLMEIER, Marco, REINHART, Gunther. Predicting Future Inbound Logistics Processes Using Machine Learning. **Procedia CIRP** 52, 145-150, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.078>. Acesso em: 05 set 2022.

KOSTYOUK, Anna. V. IGNATENKO, Viktoria. Y., MAKAROVA, Veronika V., ANTONOV, Sergey V., ILYIN, Sergey O. Polyethylene wax as an alternative to mineral fillers for preparation of reinforced pressure-sensitive adhesives. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 102, 102689, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102689>. Acesso em 04 ago. 2022.

KOSTYOUK, Anna. V. SMIRNOVA, Nina., ILYIN, Sergey O. Two-functional phase-change pressure-sensitive adhesives based on polyisobutylene matrix filled with paraffin wax. **Journal of Energy Storage** 52, 104797, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104797>. Acesso em 05 ago. 2022.

KUMAR, Harendra, KUMAGAI, Shogo, SAITO, Yuko, YOSHIOKA, Toshiaki. Latest trends and challenges in PVC and copper recovery technologies for End-of-Life thin cables. **Waste Management** 174, 400-410, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.12.012>. Acesso em: 24 fev. 2024.

LEE, Seung-Woo, BACK, Jong-Ho, SHIM, Gyu-Sung, JANG, Seong-Wook, KIM, Hyun-Joong. Adhesion performance and optical properties of optically pressure-sensitive adhesives including an isosorbide. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 98, 102503, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102503>. Acesso em: 05 fev. 2023.

LI, Wenchao, BAI, Hongtao, YIN, Jianfeng, XU, He. Life cycle assessment of end-of-life vehicle recycling processes in China - take Corolla taxis for example. **Journal of Cleaner Production** 117, 176-187, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.025>. Acesso em: 18 fev. 2024.

LI, Wenjie; ASADABADI, Ali; MILLER-HOOKS, Elise. Enhancing resilience through port coalitions in maritime freight networks. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**. 157, 1-23, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.01.015>. Acesso em: 04 set 2022.

LIANG, Zijing, CHIU, Yung-ho, GUO, Quan, LIANG, Zhi. Low-carbon logistics efficiency: Analysis on the statistical data of the logistics industry of 13 cities in Jiangsu Province, China. **Research in Transportation Business & Management** 43, 100740, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100740>. Acesso em: 05 fev. 2023.

LOPES, Sérgio Barbosa Bessa. **Contabilidade, Custos e Orçamento Empresarial**. Rio de Janeiro: FGV IDE Management, 2015.

LOPEZ, Fernando J. Diaz, BASTEIN, Ton, TUKKER, Arnold. Business Model Innovation for Resource-efficiency, Circularity and Cleaner Production: What 143 Cases Tell Us. **Ecological Economics** 155, 20-35, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.03.009>. Acesso em: 12 fev. 2024.

LOURENÇO, Isabel C., BRANCO, Manuel Castelo. Determinants of corporate sustainability performance in emerging markets: the Brazilian case. **Journal of Cleaner Production** 57, 134-141, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.013>. Acesso em: 06 fev. 2023.

LOZANO, Francisco J., FREIRE, Paulo, GUILLÉN-GOZALBEZ, Gonzalo, JIMÉNEZ-GONZALEZ, Concepción, SAKAO, Tomohiko, MAC DOWELL, Niall, ORTIZ, María Gabriella, TRIANNI, Andrea, CARPENTER, Angela, VIVEROS, Tomás. New perspectives for sustainable resource and energy use, management and transformation: approaches from green and sustainable chemistry and engineering. **Journal of Cleaner Production** 118, 1-3, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.041>. Acesso em: 12 fev. 2024.

LOU, Yongjia, XU, Luyan, GAN, Ninglin, SUN, Yunyan, LIN, Bo-Lin. Chemically recyclable polyesters from CO₂, H₂, and 1,3-butadiene. **The Innovation** 3 (2), 100216, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100216>. Acesso em: 05 fev. 2023.

LU, Yuchen, BROUGHTON, James, WINFIELD, Pat. A review of innovations in disbonding techniques for repair and recycling of automotive vehicles. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 50, 119–127, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.01.021>. Acesso em: 05 fev. 2023.

LUNELLI, Reinaldo Luiz. **Principais Métodos de Custeio**. Disponível em: <https://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/metodosdecusteio.htm>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MAASSEN, Wiebke, MEIER, Michael A. R., WILLENBACHER, Norbert. Unique adhesive properties of pressure sensitive adhesives from plant oils. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 64, 65-71, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.10.004>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MACENO, Marcell Mariano Corrêa, JOÃO, Samuel, VOLTOLINI, Daniella Raphaela, ZATTAR, Izabel Cristina. Life Cycle Assessment and Circularity Evaluation of the Non-medical Masks in the Covid-19 Pandemic: a Brazilian Case. **Environment, Development and Sustainability** 25, 8055-8082, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02388-2>. Acesso em 05 mai 2024.

MAGALHÃES, Eduardo, SANTOS, Almir Garnier, ELIA, Bruno, PINTO, Geraldo. **Gestão da cadeia de suprimentos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014.

MARKET RESEARCH FUTURE. **Pressure Sensitive Tapes Market**. Nova Iorque, EUA. Disponível em: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/pressure-sensitive-tapes-market-1620>. Acesso em: 05 jul. 2022.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

Material Circularity Indicator. **The Ellen MacArthur Foundation**, 2023. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MAZZALI, Rubens, SCHLEDER, Annibal, PEDREIRA, Eduardo Rosa. **Gestão de Negócios Sustentáveis**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014.

METZGER, Jürgen O., EISSEN, Marco. Concepts on the contribution of chemistry to a sustainable development. Renewable raw materials. *Comptes Rendus Chimie* 7 (6-7) 569-581. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2003.12.003>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MOUSTAFA, Ahmed F. Release of a cohesively strong, general purpose hot-melt pressure sensitive adhesive from a silicone liner. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 50, 65-69, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.12.014>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Adhesion Property Evaluation Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/paint/paste/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Adhesive Design Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/adhesive/estimate/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Adhesive Synthesis Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/adhesive/composite/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Lamination Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/adhesive/specificat/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Nitto Group Integrated Report 2022**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/sustainability/report/#report2022>. Acesso em: 05 set. 2022.

NITTO DENKO. **Release Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/adhesive/strip/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Substrate Design Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/adhesive/base/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NITTO DENKO. **Web Handling Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/paint/carry/>. Acesso em: 04 set. 2022.

NGUYEN, Huong Giang, KUHN, Marlene, FRANKE, Jörg. Manufacturing automation for automotive wiring harnesses. **Procedia CIRP** 97, 379-284, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.254>. Acesso em: 05 fev. 2023.

OLBRICH, Stefan, LACKINGER, Julia. Manufacturing processes of automotive high-voltage wire harnesses: state of the art, current challenges and fields of action to reach a higher level of automation. In: **55th CIRP Conference on Manufacturing Systems**. Procedia CIRP 107, p. 653-660, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.041>.

OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso de, CORREIA, Auro de Jesus Cardoso, LUCATO, Wagner Cesar. Economic and environmental benefits by means of recycling processes grounded in the CE: Case studies in the metal mechanical sector. **Waste Management**, 164, 250-259, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.017>. Acesso em: 05 mai. 2024.

PARCHOMENKO, Alexej, NELEN, Dirk, GILLABEL, Jeroen, VRANCKEN, Carl C., RECHBERGER, Helmut. Resource effectiveness of the European automotive sector – a statistical entropy analysis over time. **Resources, Conservation & Recycling** 169, 105558, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105558>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PARK, Hung-Suck, BEHERA, Shishir Kumar. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**, 64, 478-485, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.032>. Acesso em: 05 mai 2024.

PAUL, Rhiya, JOHN, Ben, SAHOO, Sushanta K. UV-Curable Bio-Based Pressure-Sensitive Adhesives: Tuning the Properties by Incorporating Liquid-Phase Alkali Lignin- Acrylates. **Biomacromolecules**, 23 (3), 816-828, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.1c01249>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PIZZI, A., MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology**. Boca Raton: CRC Press, 2018. <https://doi.org/10.1201/9780203021163>. Acesso em 05 ago. 2022.

PŁOTKA-WASYLKA, Justyna, MAKOŚ-CHEŁSTOWSKA, Patrycja, KUROWSKA-SUSDORF, Aleksandra, TREVIÑO, María José Santoyo, GUSZMÁN, Sergio Zarazúa, MOSTAFA, Heba, CORDELLA, Mauro. End-of-life management of single-use baby diapers: Analysis of technical, health and environment aspects. **Science of the Total Environment** 836, 155339, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155339>. Acesso em: 05 fev. 2023.

QL-CUSTOM. **Automotive Wire Harnesses**. Disponível em: <https://www.ql-custom.com/automotive-wire-harness.html>. Acesso em: 04 set. 2022.

REIS, Tiago. Royalties: entenda o significado do termo e a sua importância. **Blog SUNO Artigos**. 15 fev. 2022. Disponível em: <https://www.sunos.com.br/artigos/royalties/>. Acesso em: 08 jan. 2023.

RALLO, H., BENVENISTE, G., GESTOSO, I., AMANTE, B. Economic analysis of the disassembling activities to the reuse of electric vehicles Li-ion batteries. **Resources, Conservation & Recycling** 159, 104785, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104785>. Acesso em: 05 fev. 2023.

REIKE, Denise, VERMEULEN, Walter J. V., WITJES, Sjors. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resources, Conservation and Recycling**, 135, 246-264, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>. Acesso em 05 mai. 2024.

RODRÍGUEZ, Rosa M., LABELLA, Álvaro, NUÑEZ-CACHO, Pedro, MOLINA-MORENO, Valentin, MARTÍNEZ, Luis. A comprehensive minimum cost consensus model for large scale group decision making for circular economy measurement. **Technological Forecasting and Social Change**, 175, 121391, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121391>. Acesso em: 05 mai. 2024.

SCAIN. **Máquina Cortadora de Bobinas MFS80**. Disponível em: <https://www.metalurgicascaim.com.br/maquina/maquina-cortadora-de-bobinas-mfs80>. Acesso em: 04 set. 2022.

SCAPA GROUP LTD. **Responsibility**. Disponível em: <https://www.scapa.com/Responsibility>. Acesso em: 05 set. 2022.

SEROKA-STOLKA, Oksana, OCIEPA-KUBICKA, Agnieszka. Green logistics and circular economy. **Transportation Research Procedia** 39, 471–479, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.049>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SHIM, Gyu-Seong, KIM, Ji-Soo, BACK, Jong-Ho, JANG, Seong-Wook, PARK, Ji-Won, KIM, Hyun-Joong, CHOI, Jun-Sik, YEOM, Jin-Seok. Preparation of acrylic pressure-sensitive adhesives by UV/UV step curing as a way of lifting the limitations of conventional dual curing techniques. **International Journal of Adhesion and Adhesives** 96, 102445, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102445>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SILVA, Nathalie, PÁLSSON, Henrik. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production** 333, 130165, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2021.130165>. Acesso em: 05 set. 2022.

SILVESTRI, Cecília, SILVESTRI, Luca, FORCINA, Antonio, DI BONA, Gianpaolo, FALCONE, Domenico. Green chemistry contribution towards more equitable global sustainability and greater circular economy: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, 294, 126137, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126137>. Acesso em: 12 fev. 2024.

SINGH, Manjinder, SETHI, Sushanta Kumar, MANIK, Gaurav. Pressure-sensitive adhesives based on acrylated epoxidized linseed oil: A computational approach. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 112, 103031, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.103031>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SUFRAMA - Superintendência da Zona Franca de Manaus. Disponível em: <https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/incentivos>. Acesso em: 23 jan. 2022.

TAGHIPOUR, Ehsan, VEMULA, Sai Siddhartham GARGESH, Kushal, HEADINGS, Leon M., DAPINO, Marcelo J., SOGHRATI, Soheil. Finite element analysis of mechanical behavior of electrical wire harnesses: High fidelity and reduced-order models. **International Journal of Mechanical Sciences** 165, 105188, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105188>. Acesso em: 05 fev. 2023.

TESA SE. **Carrying adhesion to the peak. A brief look on backings**. Disponível em: <https://www.tesa.com/en/wikitapia/backing-material-adhesive-tape.html>. Acesso em: 05 ago. 2022.

TESA SE. **Is Each Small tesa Roll Actually Wound Separately?** Disponível em: <https://www.tesa.com/en/wikitapia/adhesive-tape-manufacturing-process.html>. Acesso em: 04 set. 2022.

TESA SE. **tesa – Sustainability report 2021**. Disponível em: <https://www.tesa.com/en/about-tesa/sustainability/sustainability-report>. Acesso em: 05 set. 2022.

TESA SE. **The Power Of Adhesive Tapes depends on the Mix**. Disponível em: <https://www.tesa.com/en/wikitapia/tape-and-adhesive-applications.html>. Acesso em: 04 set. 2022.

TESA SE. **Wire Harnessing tapes for Bundling and Protection**. Disponível em: <https://www.tesa.com/en/industry/automotive/applications/wire-harnessing>. Acesso em: 04 set. 2022.

TESA SE. **Essential Technical Training**. Hamburg: 2012.

TESA SE. **Wire Harnessing College**. Hamburg: 2009.

TOLIO, Tullio, BERNARD, Alain, COLLEDANI, Marcello, KARA, Sara, SELIGER, Guenther, DUFLOU, Joost, BATTIA, Olga, TAKATA, Shozo. Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. **CIRP Annals - Manufacturing Technology** 66 (2), 585-609, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.001>. Acesso em: 05 fev. 2023.

TORRES, Vitor. **O que é DRE na Contabilidade? Como Fazer e qual sua Importância no Sucesso de uma Empresa?** Disponível em:

<https://www.contabilizei.com.br/contabilidade-online/o-que-e-dre-para-que-serve/>.

Acesso em: 16 jan 2023.

TROMMNAU, Jerome, FROMMKNECHT, Andreas, SIEGERT, Jörg, WÖßNER, Johannes, BAUERNHANS, Thomas. Design for Automatic Assembly: A new Approach to Classify Limp Components. **Procedia CIRP** 91, 49-54, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.136>. Acesso em: 05 fev. 2023.

TROMMNAU, Jerome, KÜHNLE, Jens, SIEGERT, Jörg, INDERKA, Robert, BAUERNHANS, Thomas. Overview of the State of the Art in the Production Process of Automotive Wire Hanernessesm Current Research and Future Trends. In: **52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems**. Procedia CIRP 81, 387-392, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.067>. Acesso em 09 ago. 2022.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1415-65552005000300014>.

VETAPHONE A/S. **Corona treatment**. Disponível em:

<https://www.vetaphone.com/our-offering/corona-treatment/>. Acesso em: 04 set. 2022.

VILLANUEVA-REY, P., BELO, S., QUINTERO, P., ARROJA, L., DIAS, A. C. Wiring in the automobile industry: Life cycle assessment of an innovative cable solution. **Journal of Cleaner Production** 204, 237-246, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.clepro.2018.09.017>. Acesso em: 09 ago 2022.

YAN, Xiaoyu, LIU, Weihua, LIM, Ming K., LIN, Yong, WEI, Wanying. Exploring the factors to promote circular supply chain implementation in the smart logistics ecological chain. **Industrial Marketing Management** 101, 57-70, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.11.015>. Acesso em: 05 set 2022.

YONGLE AVERY DENNISON CORPORATION. **Certifications and Compliance**. Disponível em: <https://yongletape.averydennison.com/en/home/about-us/certifications-compliance.html>. Acesso em: 05 set. 2022.

WONG, Eugene Yin Cheung, TAI, Allen H., SO, Stuart. Container drayage modelling with graph theory-based road connectivity assessment for sustainable freight transportation in new development area. **Computers & Industrial Engineering** 149, 106810, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106810>. Acesso em: 04 set. 2022.

ZANLUCA, Júlio César. **Custo Padrão**. Disponível em: <https://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/custospadrao.htm>. Acesso em: 08 jan. 2023.

ZHANG, Xin, KHURSHID, Kanwal Zahra, HAIDER, Nabeel, HANIF, Muhammad Shehzad. The nexus of green innovation, cleaner production, and eco-efficiency and their role in environmental Sustainability. **Gondwana Research**, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.03.015>. Acesso em 05 mai. 2024.