

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TÊXTIL E MODA

PALLOMA RENNY BESERRA FERNANDES

**Design Circular: materiais biodegradáveis para a indústria calçadista**

São Paulo  
2023

PALLOMA RENNY BESERRA FERNANDES

**Design Circular: materiais biodegradáveis para a indústria calçadista**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 15 de março de 2023. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração:

Materiais e Processos Têxteis.

Orientadora:

Profa. Dra. Júlia Baruque Ramos

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Artes, Ciências e Humanidades,  
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)  
Brenda Fontes Malheiros de Castro CRB 8-7012; Sandra Tokarevicz CRB 8-4936

Fernandes, Palloma Renny Beserra  
Design Circular: materiais biodegradáveis para a  
indústria calçadista / Palloma Renny Beserra  
Fernandes; orientadora, Júlia Baruque-Ramos. --  
São Paulo, 2023.  
161 p: il.

Dissertacao (Mestrado em Ciências) - Programa de  
Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes,  
Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo,  
2023.

Versão corrigida

1. materiais biodegradáveis. 2. indústria  
calçadista. 3. design circular. 4. couro caprino. 5.  
resíduos têxteis. 6. biocompósitos. I. Baruque-Ramos,  
Júlia, orient. II. Título.

**Nome:** FERNANDES, Palloma Renny Beserra

**Título:** Design Circular: Materiais Biodegradáveis para a Indústria Calçadista

Dissertação apresentada à escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de pós graduação em Têxtil e Moda.

**Área de Concentração:** Materiais e Processos Têxteis.

**Orientadora:** Profa. Dra. Júlia Baruque Ramos

Aprovado em: 15 / 03 / 2023

### **Banca Examinadora**

Prof. Dr. Wilson Kindlein Junior      Instituição: UFRS

Julgamento: Aprovada      Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Cyntia Santos Malaguti de Souza      Instituição: FAU - USP

Julgamento: Aprovada      Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Holmer Savastano Júnior      Instituição: FZEA - USP

Julgamento: Aprovada      Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família, por de alguma forma sempre me apoiar em meus planos e sonhos, em especial a minha mãe Áurea Radinê Beserra Fernandes, que sempre me inspirou com sua constante dedicação em busca de conhecimentos.

À Professora Júlia Baruque Ramos, que sempre se dispôs em transmitir conhecimentos com tamanha dedicação. Me proporcionou explorar e expandir grandes conhecimentos, onde pude evoluir como cientista. Me sinto orgulhosa por cada conquista alcançada e honrada pela parceria.

Agradeço aos meus amigos e amigas que sempre vibraram comigo por cada conquista. A todas e todos colegas cientistas que me acompanharam nesse percurso, com compartilhamento de conhecimentos e apoio mútuo. Luciano Pinheiro pela parceria e grande influência para minha entrada do mestrado, Felipe Bastos, Bárbara Contin, Mylena Uhlig, Raysa Soares e Lais Kohan pela parceria de estudos. Larissa Duarte e Letícia Galatti pelas trocas e apoio.

À CAPES - 001 (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior) pelo auxílio financeiro concedido, o qual viabilizou a realização deste trabalho.

## RESUMO

FERNANDES, Palloma R. B. **Design Circular: Materiais Biodegradáveis para a Indústria Calçadista**. 2023. 160 p. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2023. Versão corrigida.

Na indústria calçadista, os problemas ambientais relacionados aos materiais aplicados em seus componentes correspondem a cerca de 80% dos impactos gerados na vida útil total dos calçados. O desenvolvimento de calçados com materiais biodegradáveis se destaca como alternativa para enfrentar essa questão em torno da sustentabilidade no setor. Para a implementação do design circular na indústria calçadista, a seleção dos materiais assume o papel mais crítico nas tomadas de decisão. Este estudo teve como objetivo investigar materiais biodegradáveis para o design circular na indústria calçadista, com ênfase nas possibilidades de aplicação e circularidade. A metodologia consistiu em RSL (Revisão Sistemática da Literatura) sobre materiais biodegradáveis para aplicação em calçados; visitas técnicas em indústrias e empreendimentos relacionados a calçados e materiais e entrevistas semiestruturadas com seus representantes; desenvolvimento experimental de protótipos de aplicação de materiais biodegradáveis em calçados; desenvolvimento de biocompósitos a partir de fibras têxteis recicladas de jeans; e experimentos laboratoriais (testes tênses e de microscopia). A RSL identificou materiais biodegradáveis já disponíveis no mercado e estudos de desenvolvimento de novos biocompósitos. Em Pernambuco foram identificados arranjos produtivos com ciclo fechado para o couro caprino, material biodegradável ao fim de sua vida útil. Os testes tênses indicaram que o couro caprino é o mais resistente à tração dentre as amostras analisadas de couros bovino e caprino curtidos em tanino e bovino curtido em cromo. A partir de resíduos de jeans desfibrado e em pó, foi realizada uma contribuição ao desenvolvimento de biocompósitos para aplicação em componentes de calçados. Por fim, foram apresentadas perspectivas de estratégias de design circular em cada etapa do ciclo de vida do calçado para os couros curtidos em tanino e os biocompósitos desenvolvidos. Assim, a implementação do design circular em arranjos produtivos locais poderia aumentar a capacidade de otimização de recursos e a manutenção de ciclos contínuos.

**Palavras-chave:** materiais biodegradáveis; indústria calçadista; design circular; couro caprino; resíduos têxteis; biocompósitos.

## ABSTRACT

FERNANDES, Palloma R. B. **Circular Design: Biodegradable Materials for Footwear Industry**. 2023. 160 p. Thesis (Textile and Fashion Master's Graduation) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo. São Paulo, 2023. Original Version.

In the footwear industry, the environmental problems related to the materials applied in its components correspond to about 80% of the impacts generated in the total shoe life cycle. The development of footwear with biodegradable materials stands out as an alternative to face this issue of the sustainability in the sector. For circular design implementation in the footwear industry, the materials' selection assumes the most critical role in decision-making. This study aimed to investigate biodegradable materials for circular design in the footwear industry, emphasizing the possibilities of application and circularity. The methodology consisted of SLR (Systematic Literature Review) about biodegradable materials for footwear application; technical visits to industries and enterprises related to footwear and related materials, and semi-structured interviews with their representatives; experimental development of application prototypes of biodegradable materials in footwear; biocomposites development from recycled jeans textile fibers; and laboratory experiments (tensile and microscopy tests). The SLR identified biodegradable materials already available in the market and studies to develop new biocomposites. In Pernambuco (Brazilian state), closed-loop production arrangements were identified for goat leather, a biodegradable material at the end of its useful life cycle. The tensile tests indicated that goat leather is the most resistant to traction among the analyzed samples of bovine and goat vegetable tanning leather and bovine chrome leather. A contribution to the biocomposites' development for application in footwear components from shredded and powdered jeans waste was made. Finally, perspectives of circular design strategies at each stage of the footwear life cycle were presented for the vegetable tanning leathers and the developed biocomposites. Thus, the circular design implementation in local production arrangements could increase the capacity for resource optimization and the maintenance of continuous cycles.

**Keywords:** biodegradable materials; footwear industry; circular design; goat leather; textile waste; biocomposites.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estrutura da economia linear .....	25
<b>Figura 2.</b> Estrutura da economia circular .....	28
<b>Figura 3.</b> Transição da economia linear para a economia circular.....	30
<b>Figura 4.</b> Múltiplas medidas para o fechamento do ciclo em cada fazer do ciclo de vida do produto .....	33
<b>Figura 5.</b> Indicadores de complexidade e relevância da circularidade.....	35
<b>Figura 6.</b> Ciclo biológico (esquerda) e ciclo técnico (direita) de produtos de consumo	37
<b>Figura 7. (a)</b> Calçado em couro em 3.500 a.C <b>(b)</b> Sandália pré-histórica de fibras vegetais <b>(c)</b> Sapato de salto feito com tecidos e bordados, de 1875 .....	38
<b>Figura 8. (a)</b> Oficina de calçados em 1684 <b>(b)</b> Sapateiros em oficina artesanal <b>(c)</b> Produção industrial de calçados .....	40
<b>Figura 9.</b> Divisão superior e inferior dos componentes de calçados.....	41
<b>Figura 10. (a)</b> Fôrma de madeira talhada à mão <b>(b)</b> Fôrma moldada em plástico .....	42
<b>Figura 11.</b> Sistema de inter-relações industriais do setor coureiro calçadista.....	43
<b>Figura 12.</b> Produção mundial de calçados (2011-2020).....	44
<b>Figura 13.</b> Materiais empregados em calçados exportados e importados .....	49
<b>Figura 14.</b> Partes que compõem um calçado.....	51
<b>Figura 15.</b> Alongamento dos dedos durante a marcha dentro do calçado.....	53
<b>Figura 16.</b> Impactos da indústria calçadista por categoria .....	57
<b>Figura 17.</b> Etapas do ciclo de vida do calçado na Suécia.....	60
<b>Figura 18. (a)</b> Calçado de material reciclado <b>(b)</b> Calçados de materiais biodegradáveis .....	61
<b>Figura 19. (a)</b> Criação de caprinos no bioma caatinga do nordeste <b>(b)</b> Couros de caprino curtido em tanino.....	65
<b>Figura 20.</b> Fluxograma do processo de beneficiamento do couro curtido ao cromo .....	67
<b>Figura 21. (a)</b> Processo de curtimento com tanino <b>(b)</b> Lavagem e adição de óleos <b>(c)</b> Secagem .....	68
<b>Figura 22.</b> Processo de reciclagem de biocompósitos.....	70
<b>Figura 23.</b> Feira de Bode em Belo Jardim-PE .....	73
<b>Figura 24.</b> Bacia leiteira de Pernambuco com destaque para Cachoeirinha e Belo Jardim.....	74
<b>Figura 25.</b> Selas de montaria na feira de Couro e Aço em Cachoeirinha -PE .....	75

<b>Figura 26.</b> Vista ampla da fábrica II durante a visita .....	76
<b>Figura 27. (a)</b> Estoque de tecidos jeans; <b>(b)</b> Vista da área de produção da fábrica .....	77
<b>Figura 28. (a)</b> Resíduos de jeans desfibrado <b>(b)</b> Resíduos de jeans em pó.....	78
<b>Figura 29.</b> Dinamômetro da marca Instron (modelo 5569).....	80
<b>Figura 30. (a)</b> Amostras de couro caprino prontas para o teste no dinamômetro <b>(b)</b> Couro de caprino com indicação do sentido longitudinal, parte dorsal do animal .....	80
<b>Figura 31.</b> Camadas do biocompósito de resíduo de jeans desfibrado aguardando secagem após preparação .....	81
<b>Figura 32.</b> Estéreo-microscópio da marca Leica (modelo MS5) .....	82
<b>Figura 33.</b> Esquema do protocolo de Revisão Sistemática da Literatura (RSL).....	83
<b>Figura 34.</b> Rede dos principais clusters identificados nos artigos selecionados .....	84
<b>Figura 35.</b> Rede de clusters a partir de "desenvolvimento sustentável" .....	85
<b>Figura 36. (a)</b> Tanque da etapa de curtimento com taninos <b>(b)</b> Tanque para aplicação da cal nos couros .....	92
<b>Figura 37. (a)</b> Tanques de lavagens dos couros <b>(b)</b> Resíduos das etapas de depilação e descarne.....	93
<b>Figura 38.</b> Carros onde são comercializados os couros, ocupando as vielas .....	94
<b>Figura 39.</b> Comercialização de couro caprino na feira do Couro e Aço em Cachoeirinha-PE .....	95
<b>Figura 40.</b> Exposição de couros caprinos sobre os carros dos próprios vendedores.....	95
<b>Figura 41. (a)</b> Couros de caprino sem pelo <b>(b)</b> Couros de caprino com pelo (os mais escuros) e sem pelo (os mais claros) .....	96
<b>Figura 42.</b> Rede de arranjos produtivos locais da cidade de Cachoeirinha-PE e região	97
<b>Figura 43.</b> Máquina de montagem do bico do calçado da fábrica I .....	98
<b>Figura 44.</b> Máquina de montagem de bico da fábrica II .....	99
<b>Figura 45.</b> Máquina de conformar contraforte e biqueira da fábrica I.....	99
<b>Figura 46. (a)</b> Prensa compressor <b>(b)</b> Esteira de aquecimento de adesivos pré-colagem de sola <b>(c)</b> Charuto (emissor de jato quente com ou sem vapor de água).....	100
<b>Figura 47. (a)</b> Costura das partes cortadas seguindo a modelagem do modelo Oxford <b>(b)</b> Adição da biqueira no bico do modelo <b>(c)</b> Adição do contraforte na traseira do modelo.....	101
<b>Figura 48. (a)</b> Montagem manual da biqueira com tachas, batidas de martelo e adesivo <b>(b)</b> Cabedal sendo passado no charuto para retirada de rugas <b>(c)</b> Contraforte sendo conformado na máquina .....	102

<b>Figura 49. (a)</b> Primeira tentativa de montagem de bico na máquina com couro bovino curtido em tanino <b>(b)</b> Segunda tentativa <b>(c)</b> Terceira tentativa.....	103
<b>Figura 50.</b> Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro bovino curtido em tanino. As curvas 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal.....	104
<b>Figura 51.</b> Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro bovino curtido em cromo. As curvas 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal.....	105
<b>Figura 52.</b> Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro caprino curtido em tanino. As curvas 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal.....	105
<b>Figura 53.</b> Gráficos comparativos de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo no sentido longitudinal.....	107
<b>Figura 54.</b> Gráficos comparativos de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo no sentido transversal.....	108
<b>Figura 55.</b> Microscopias da superfície superior (flor- parte mais lisa) com indicação de escala de 1 mm do couro caprino curtido em tanino. <b>(a)</b> Ampliação 51x <b>(b)</b> Ampliação 20x.....	109
<b>Figura 56.</b> Microscopias da superfície superior (flor- parte mais lisa) com indicação de escala de 1 mm do couro bovino curtido em tanino. <b>(a)</b> Ampliação 51x <b>(b)</b> Ampliação 20x.....	110
<b>Figura 57.</b> Microscopias das superfícies superiores (flor- parte mais lisa) com indicação de escala de 1 mm e ampliação 51x <b>(a)</b> Couro caprino curtido em tanino <b>(b)</b> Couro bovino curtido em tanino.....	110
<b>Figura 58.</b> Resíduos de jeans coletados do processo de corte do tecido (jeans 100% algodão junto com jeans 97% algodão e 3% de elastano).....	111
<b>Figura 59.</b> Mistura de jeans com tecido branco de algodão, resíduos do processo de costura.....	112
<b>Figura 60.</b> Processo de reciclagem do jeans: do tecido ao fio.....	115

<b>Figura 61.</b> Materiais biocompósitos empregando: (a) resíduos de jeans desfibrado (16x20 cm); (b) e resíduos de jeans em pó (20x20 cm).....	117
<b>Figure 62.</b> Propostas de componentes de calçados para aplicação dos biocompósitos: (a) palmilha com biocompósito de resíduo de jeans desfibrado; (b) biqueira com biocompósito de resíduo de jeans em pó.....	118
<b>Figura 63.</b> Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para amostras do biocompósito de resíduo de jeans desfibrado.....	120
<b>Figura 64.</b> Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para amostras do biocompósito de resíduo de jeans em pó.....	120
<b>Figura 65.</b> Microscopias com indicação de escala de 1 mm e ampliação 20x (a) Biocompósito de resíduos de jeans desfibrado (b) Biocompósito de resíduos de jeans em pó.....	121
<b>Figura 66.</b> Perspectivas de estratégias de design circular em cada etapa do ciclo de vida do calçado para os couros curtidos em tanino e os biocompósitos desenvolvidos .....	125
<b>Figura 67.</b> Perspectivas de estratégias de economia circular em arranjos produtivos com escala industrial (a) na região Nordeste para biocompósitos de resíduo de jeans e (b) no estado da Paraíba para couros caprinos curtidos em tanino .....	126
<b>Figura 68.</b> Análise de circularidade dos materiais biocompósitos experimentalmente desenvolvidos e as perspectivas de ciclos consecutivos. ....	127

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Ranking top 10 dos produtores calçadistas do mundo (quantidade 2020)....	45
<b>Tabela 2</b> . Ranking top 10 dos países consumidores de calçados (Quantidade 2020) ....	46
<b>Tabela 3</b> . Dados da indústria calçadista brasileira .....	48
<b>Tabela 4</b> . Participação produtiva por unidade federativa .....	49
<b>Tabela 5</b> . Impactos dos calçados por tipo de material e categoria .....	56
<b>Tabela 6</b> . Materiais biodegradáveis que podem ser aplicados na indústria calçadista...	85
<b>Table 7</b> . Resultados para os biocompósitos empregando resíduos desfibrados ou em pó em diferentes proporções de soluções aquosas .....	116
<b>Tabela 8</b> . Medidas e ações propostas pela APICCAPS como plano estratégico 2030 do cluster calçadista .....	123

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Utilização de materiais em calçados da década de 1930 a 2000.....	40
<b>Quadro 2.</b> Normas ABNT em conforto de calçados .....	54
<b>Quadro 3.</b> Materiais utilizados nos ensaios de tração .....	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação de Normas Técnicas

ABS - Acrilonitrilo-butadieno-estireno

AGNU - Assembleia Geral das Nações Unidas

AVC - Avaliação do Ciclo de Vida

C2C - Cradle to Cradle

CE - Comissão Europeia

CMDS - Cúpula Mundial do Desenvolvimento Sustentável (Rio+10)

CMMAD - Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento

CNUDS - Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20)

CNUMAD - Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92)

CNUMAH - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano

EC - Economia Circular

EL - Economia Linear

EU - União Europeia

EVA - Etileno Acetato de Vinila

FM - Fluxo de Materiais

FVU - Final de Vida Útil

IC - Indicador de Circularidade

ICM - Indicador de Circularidade de Materiais

IE - Ecologia Industrial

IFL - Índice de Fluxo Linear

IFLS - International Footwear and Leather Show

ISO - Organização Internacional da Normatização

OCDE - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Nações Unidas

PMA - Projeto para o Meio Ambiente

PML - Produção Mais Limpa

PU - Poliuretano

PVC - Policloreto de vinila

SAC - Sustainable Apparel Coalition

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. Objetivo geral</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>20</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>21</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1. Sustentabilidade e a indústria da moda</b> .....	<b>22</b>
4.1.1. Desenvolvimento sustentável.....	22
4.1.2. Ecologia industrial .....	24
4.1.3. Economia circular .....	26
4.1.4. Moda sustentável.....	29
<b>4.2. Design e circularidade</b> .....	<b>31</b>
4.2.1. Design circular de produto .....	31
4.2.2. O protagonismo dos materiais e as métricas de circularidade .....	33
4.2.3. O fechamento do ciclo técnico e biológico .....	36
<b>4.3. A indústria calçadista</b> .....	<b>37</b>
4.3.1. A evolução da construção do calçado e o emprego de materiais .....	37
4.3.2. A produção calçadista mundial .....	43
4.3.3. A produção calçadista brasileira .....	47
4.3.4. Requisitos ergonômicos e de conforto no desenvolvimento de componentes de calçados .....	50
<b>4.4. Impactos da indústria calçadista e o desenvolvimento sustentável</b> .....	<b>55</b>
<b>4.5. Fechamento do ciclo de vida do calçado</b> .....	<b>58</b>
<b>4.6. Materiais biodegradáveis</b> .....	<b>61</b>
4.6.1. O couro e a sustentabilidade.....	63
4.6.2. Desenvolvimento de biocompósitos .....	69
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>72</b>
<b>5.1. Tipo da pesquisa</b> .....	<b>72</b>

<b>5.2.</b>	<b>Revisão Sistemática da Literatura.....</b>	<b>72</b>
5.2.1.	Materiais biodegradáveis para aplicação em calçados.....	72
<b>5.3.</b>	<b>Visitas técnicas e entrevistas semiestruturadas .....</b>	<b>73</b>
5.3.1.	Visita técnica em curtume de caprino em Belo Jardim-PE.....	73
5.3.2.	Visita técnica em feira de couros em Cachoeirinha-PE .....	74
5.3.3.	Visita técnica em fábricas de calçados em São Paulo-SP .....	75
5.3.4.	Visita técnica em indústria de confecção de jeans em Toritama-PE.....	76
<b>5.4.</b>	<b>Materiais e métodos experimentais .....</b>	<b>77</b>
5.4.1.	Protótipos de aplicação de materiais biodegradáveis.....	77
5.4.2.	Desenvolvimento de biocompósitos .....	78
5.4.3.	Testes laboratoriais.....	79
<b>6.</b>	<b><i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>.....</b>	<b>82</b>
<b>6.1.</b>	<b>Materiais biodegradáveis para calçados .....</b>	<b>82</b>
6.1.1.	Revisão sistemática da literatura .....	82
<b>6.2.</b>	<b>Visita técnica em curtume de couro caprino em Belo Jardim-PE .....</b>	<b>91</b>
<b>6.3.</b>	<b>Visita em feira de couros caprinos em Cachoeirinha-PE .....</b>	<b>94</b>
<b>6.4.</b>	<b>Visita técnica em fábricas de calçados em São Paulo-SP .....</b>	<b>97</b>
<b>6.5.</b>	<b>Aplicabilidade de materiais biodegradáveis .....</b>	<b>100</b>
6.5.1.	Prototipação: Montagem de calçados em couros curtidos em tanino .....	100
6.5.2.	Testes laboratoriais comparativos entre os couros caprino e bovino .....	104
<b>6.6.</b>	<b>Visita técnica em fábrica de jeans em Toritama-PE.....</b>	<b>111</b>
<b>6.7.</b>	<b>Desenvolvimento de biocompósitos a partir de resíduos têxteis .....</b>	<b>112</b>
6.7.1.	Recuperação e reciclagem dos resíduos industriais de jeans .....	114
6.7.2.	Biocompósitos a partir de resíduos da indústria do jeans .....	115
6.7.3.	Desenvolvimento experimental de biocompósitos.....	116
<b>6.8.</b>	<b>Design circular: desafios e potencialidade na interdisciplinaridade .....</b>	<b>122</b>
<b>7.</b>	<b><i>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PESQUISAS FUTURAS</i>.....</b>	<b>128</b>
<b>8.</b>	<b><i>CONCLUSÃO</i>.....</b>	<b>130</b>
<b>9.</b>	<b><i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>.....</b>	<b>131</b>

<b>10. APÊNDICES.....</b>	<b>148</b>
<b>Apêndice 1 - Entrevista em Fábrica de Jeans.....</b>	<b>148</b>
<b>Apêndice 2 - Entrevista na visita técnica da feira de couros de Cachoeirinhas-PE     .....</b>	<b>149</b>
<b>Apêndice 3 - Entrevista na visita técnica do curtume de couro caprino em Belo     Jardim-PE.....</b>	<b>150</b>
<b>Apêndice 4 - Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa),     extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de     Young (MPa) para os ensaios de tração do couro caprino curtido em tanino. Os     valores 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10,     no sentido transversal .....</b>	<b>151</b>
<b>Apêndice 5 - Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa),     extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de     Young (MPa) para os ensaios de tração do couro bovino curtido em tanino. Os     valores 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10,     no sentido transversal .....</b>	<b>153</b>
<b>Apêndice 6 - Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa),     extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de     Young (MPa) para os ensaios de tração do couro bovino curtido em cromo. Os     valores 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10,     no sentido transversal .....</b>	<b>155</b>
<b>Apêndice 7 – Análise gráfica dos valores de força máxima (N), tensão na força     máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima     (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e     bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo.....</b>	<b>157</b>
<b>Apêndice 8 – Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa),     extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de     Young (MPa) para os ensaios de tração dos materiais biocompósitos originados     do resíduo de jeans desfibrado.....</b>	<b>160</b>
<b>Apêndice 9 – Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa),     extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de</b>	

**Young (MPa) para os ensaios de tração dos materiais biocompósitos originados do resíduo de jeans em pó.....161**

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a indústria da moda está diretamente relacionada ao consumo em excesso, porém nos últimos anos a sustentabilidade se tornou protagonista entre as tendências do setor (GAZZOLA et al., 2020). O mercado *fast fashion* é o responsável pelo grande fluxo de resíduos promovido pelo encurtamento do ciclo de vida dos produtos de moda, como vestuário e calçados. Contudo, o aspecto de maior relevância na sustentabilidade está na eficiência do gerenciamento de resíduos (VAN RENSBURG; NKOMO; MKHIZE, 2020). A vida encurtada de um produto de moda, provocado pelo consumo compulsivo, reduz o período de uso de um produto pelo consumidor (GAZZOLA et al., 2020).

A crescente conscientização em questões ambientais advinda da sociedade tem impulsionado o posicionamento de empresas e indústrias, que vêm apresentando produtos e processos com menor impacto ambiental (TATÀNO et al., 2012). Os consumidores apresentam transformações significativas de estilo de vida, que emergem de tendências globais e afetam a indústria da moda (GAZZOLA et al., 2020). A indústria mundial de calçados apresenta discussões das práticas e iniciativas direcionadas ao desenvolvimento de produtos sustentáveis (JACQUES; GUIMARÃES, 2012).

Parte da responsabilidade do volume de resíduos gerados na indústria da moda é atribuída à indústria calçadistas, com destaque para o final da vida útil do calçado. Este último não possui gerenciamento para descarte correto para reciclagem ou reutilização do material utilizados em sua composição. Tais aspectos devem ser notabilizados na etapa de projeto do produto (HERVA; ÁLVAREZ; ROCA, 2011). Os desafios continuam sendo o emprego de materiais não tóxicos, recicláveis e/ou de fontes renováveis (JACQUES; GUIMARÃES, 2012). Posto isso, fica evidente que os resíduos gerados no final do ciclo de vida do calçado é um problema crescente e de complexa resolução. Trata-se de um problema urgente, principalmente ao identificar o grande volume de produção de calçados de baixa qualidade (FRANCISCO, 2017). Apesar da geração de resíduos pós consumo corresponder a milhões de toneladas por ano, a fase de desenvolvimento dos componentes corresponde de 29% à 68% do impacto total (PACHECO-BLANCO et al., 2018). Funcionalidade, estética e capacidade reprodutiva para atender grandes demandas são contempladas no desenvolvimento de calçados. Incorpora-las ao modelo de sustentabilidade são questões complexas e desafiadoras (GUARIENTI, 2018). Processos

norteados pelo ciclo de vida compreendem o fluxo de materiais, imprescindível para reduzir os impactos ao meio ambiente (GOTTFRIDSSON; ZHANG, 2015).

A sustentabilidade e a economia circular estão intrinsecamente conectadas, onde esta última é considerada um paradigma no equilíbrio entre economia, meio ambiente e recursos. O conceito de circularidade está estruturado nos capitais econômico, social e ambiental, que busca reduzir impactos, prolongar a usabilidade de produtos e regenerar a natureza (GAZZOLA et al., 2020). Atualmente, de modo global, são escassas as empresas que asseguram a transmissão de informações a cerca das substâncias e materiais empregados nos produtos produzidos. Os motivos são diversos, porém o mais preocupante é que muitas empresas desconhecem as caracterizações das substâncias e materiais que utilizam, menor ainda são os conhecimentos em torno dos impactos ambientais atribuídos aos materiais (JACQUES; GUIMARÃES, 2012).

O desenvolvimento de calçados com materiais biodegradáveis se destaca como alternativa viável para solucionar os problemas em torno da sustentabilidade do setor calçadista. Posto isto, é preciso substituir os materiais tradicionais, em geral derivados do petróleo e/ou façam uso de metais pesados, por materiais de menor impacto ambiental com especial atenção aos de fonte renovável (ROBINSON, 2009).

Posto isso, para contemplar todas as questões pertinentes apresentadas, o estudo foi estruturado subdividindo-se em: (i) introdução; (ii) objetivos; (iii) justificativa; (iv) metodologia; (v) revisão bibliográfica; (vi) resultados e discussão; (vii) considerações finais; e (viii) conclusão, com a pretensão de dar luz à materiais biodegradáveis investigando disponibilidade, aplicabilidade e capacidade circular para o design de calçados, além de apresentar uma proposição de biocompósitos biodegradáveis.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Investigar materiais biodegradáveis para o design circular na indústria calçadista, com ênfase nas possibilidades de aplicação e circularidade.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Fazer um levantamento de materiais biodegradáveis para a indústria calçadista por meio de revisão sistemática de literatura;
- Comparar as propriedades tênsis dos couros bovino e caprino curtidos em tanino e sua aplicabilidade no processo produtivo de um modelo de um sapato fechado;
- Investigar o processo de coleta e separação de resíduos têxteis de fibras naturais provenientes da indústria do jeans e seu emprego na contribuição ao desenvolvimento de biocompósitos para componentes de calçados;
- Discutir a implementação dos conceitos de design circular na indústria calçadista com ênfase nos materiais biodegradáveis aplicados e desenvolvidos experimentalmente.

### 3. JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade deve contemplar como parte de suas atribuições a qualidade dos materiais (CAO et al., 2014), em virtude dos tipos de resíduos gerados pelo setor calçadista como têxteis e borrachas não degradáveis (FLACH et al., 2017). Os materiais possuem conexão direta com a sustentabilidade. Estudos demonstram que estes são os impulsionadores para maior parte das inovações da moda sustentável, razão pela qual se atribui tamanha importância a seleção dos materiais. Esse processo de tomada de decisão não deve ser considerado como um quesito pontual e sim posto como ator de transformação de diversos setores envolvidos na cadeia (FLETCHER, K.; GRASE, 2011). Atualmente, de modo global, são escassas as empresas que asseguram a transmissão de informações a cerca das substâncias e materiais empregados nos produtos produzidos. Os motivos são diversos, porém o mais preocupante é que muitas empresas desconhecem as caracterizações das substâncias e materiais que utilizam, menos ainda são os conhecimentos em torno dos impactos ambientais atribuídos aos materiais (JACQUES; GUIMARÃES, 2012).

A utilização de materiais biodegradáveis tem sido amplamente discutida nas pesquisas científicas nacionais e internacionais, pela necessidade de substituição dos materiais convencionais poluentes, como os de origem petroquímica (ZHANG et al., 2016). A compreensão das propriedades dos materiais é fator norteador para projeção de ciclo de vida e gerenciamento de descarte final do calçado, tendo em vista a diversidade de materiais que contemplam o seu processo produtivo (STAIKOS et al., 2006).

A presente autora é designer de calçados e acessórios há mais de 10 anos, com vasta experiência no desenvolvimento de produtos e materiais em indústrias nacional e asiática. Buscando expandir e fortalecer seus ideais, realiza o presente projeto de mestrado visando a economia circular com protagonismo nas questões do final da vida útil do calçado, o que torna indispensável a revisão de materiais para chegar na equação de menor impacto ambiental do setor.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Sustentabilidade e a indústria da moda

#### 4.1.1. *Desenvolvimento sustentável*

O crescimento econômico é a principal estrutura que norteia a construção das sociedades, conduzida pelo modo produtivo industrialista, poluidor, consumista e dissipador. As estratégias são guiadas pelo sistema financeiro, onde o modo de produção visa atingir o mais alto nível de acumulação, o que comporta a exploração da natureza em grande escala e sem limites para geração de bens e serviços (BOFF, 2015). O sistema capitalista consiste na apropriação individual dos recursos, privatizando assim os benefícios do desenvolvimento e promovendo a desigualdade social (BARBIERI, 2020; BOFF, 2015). Esse conjunto de fatores é a base do paradigma civilizatório vigente, o qual desencadeia uma série de impactos irreversíveis ao meio ambiente, que tem capacidade limitada para absorver essa demanda de desenvolvimento produtivo global (BARAUNA; RAZERA, 2018; BOFF, 2015).

As atuais conjunturas social e ecológica decorrentes de tal modo produtivo, de consumo e de distribuição encontram-se num nível de degradação insustentável, não oferecendo condições de vida para civilizações futuras, até mesmo para a própria espécie humana (BOFF, 2015). Somente entre os anos de 1960 e 2010, em comparado ao período posterior desde o surgimento da humanidade, o emprego de recursos materiais obteve um aumento de 1.000%. Como consequência, a escassez dos recursos naturais se tornou um dos mais alarmantes problemas ambientais, assim como a pegada ecológica global. Em paralelo a isso, dados apontam que o crescimento mundial da população pode chegar à 32% até 2050 e em 53% até 2100, sendo necessários dois planetas Terra para absorver as demandas de consumo atual (BARAUNA; RAZERA, 2018). Diversas pesquisas apontam para o transbordamento da capacidade de carga sustentável da terra, à medida que os recursos naturais são saqueados por corporações para obtenção de lucros (SHIH; AGRAFIOLIS, 2015).

Imerso a este quadro problemático, foi na segunda metade do século XX (especificamente 1960), que surgiram as primeiras ideias de desenvolvimento sustentável, período em que ocorreram diversos eventos internacionais abordando a multidisciplinaridade que atravessa o conceito (BARBIERI, 2020; QUARESMA; MOURA, 2016). As Nações Unidas e suas agências contribuíram significativamente e o

tema ganhou projeção política. Sua definição foi aprimorada no decorrer da evolução dos movimentos, conferências e assembleias, tendo como destaque: 1ª Década de Desenvolvimento das Nações Unidas (1960-1970), onde iniciou-se a discursão de desenvolvimento sustentável em sua dimensão multidisciplinar; Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (1972), com mais de 100 países representados boa parte pelos seus governantes; Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987), onde a Assembleia Geral das Nações Unidas publicou o relatório “Nosso futuro comum”; Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), também conhecida como Rio-92, destacada pela tamanha repercussão (com 180 países representados) e pelos documentos aprovados (Biodiversidade, Convenção do Clima e Agenda 21); Cúpula do Milênio (2000), onde foram estabelecidos objetivos e diversas metas (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio) a serem cumpridas até 2015; Cúpula Mundial do Desenvolvimento Sustentável (2002), a Rio+10, que teve como objetivo acelerar os programas da Agenda 21; Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (2012), conhecida como Rio+20, que teve como foco central o desenvolvimento sustentável e a economia verde dentro do contexto da erradicação da pobreza; e por fim a elaboração da Agenda 2030 (2014), que apresentou uma ambiciosa lista de práticas para a implementação de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) entre os anos de 2016 e 3030 (BARBIERI, 2020).

A definição do conceito de desenvolvimento sustentável tem como princípio fundamental as concepções e propostas elaboradas pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Comissão Brundtland. É no documento “Nosso futuro comum” que se encontra a definição mais conhecida (BARBIERI, 2020; SHIH; AGRAFIOLIS, 2015). O desenvolvimento sustentável compreende atender as necessidades atuais sem comprometer as condições para as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. (BARBIERI, 2020; BOFF, 2015; MUTHU, 2013). Engloba os sistemas humano e ambiental, limitando os impactos das atividades humanas à uma escala que respeite as capacidades regenerativas ambientais. Sua multidisciplinaridade envolve as diretrizes econômica, sociopolítica e ecológica, em dimensão global e local (NEUMANN; MARTINEZ; MARTINEZ, 2020). O termo *Triple Bottom Line* denomina um modelo de gestão que alinha o desempenho econômico-financeiro às dimensões sociais e ambientais, formando assim os três pilares do desenvolvimento sustentável (BARBIERI, 2020).

A abordagem exige ações industriais que apresentem soluções economicamente viáveis, socialmente igualitárias e ambientalmente responsáveis (QUARESMA; MOURA, 2016), de tal modo a impactar toda cadeia de valor partindo desde a proposta comercial à gestão de fim de vida do produto, se ramificando em uma rede cada vez mais complexa (GAZZOLA et al., 2020). Para atingir o melhor desempenho sustentável, a indústria precisa se integrar a processos de governança, reestruturar seu modelo de negócio, evoluir a eficiência no emprego de recursos, melhorar as condições dos trabalhadores e reduzir o uso de substâncias químicas e emissão de poluição (FLETCHER, K.; GRASE, 2011; GAZZOLA et al., 2020). Atualmente, muitas empresas tem aderido a uma estratégia chamada carbono neutro, onde a pegada de carbono das atividades da empresa é calculada e esse valor é compensado por meio da compra de créditos de carbono. A “viralização” dessa estratégia tem demonstrado a resistência das empresas em remodelarem seus produtos e processo para uma versão ambientalmente sustentável, se limitando a compensação da emissão de carbono (FILHO, 2008; GOMES, 2021).

Por fim, é possível afirmar que o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação influenciado por instituições que estabelecem regras e inter-relacionam dimensões econômica, social, ambiental, espacial e também cultural que, além de atingir o sistema industrial, interfere no comportamento social visando alcançar uma sociedade *com* mercadoria e não uma sociedade *de* mercadoria (BOFF, 2015). Este estudo tem como eixo central uma abordagem técnica para o design circular de produto, entretanto é notabilizado que o desenvolvimento sustentável implica em inovações que contemplem também as dimensões sociotécnicas e socioeconômicas, para uma mudança sistêmica alinhada de forma multidisciplinar entre sociedade, empresas, instituições, políticas, produtos e serviços (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2019).

#### **4.1.2. *Ecologia industrial***

Desde o princípio da humanidade as populações utilizam recursos naturais, como plantas, minerais e animais, para a construção de produtos. O descarte dos resíduos sempre foi considerado insignificante, já que se havia espaço suficiente e seu volume era considerado pequeno. Com o crescimento populacional este problema se tornou preocupante, resíduos tóxicos afetavam diretamente a saúde humana (NEUMANN; MARTINEZ; MARTINEZ, 2020). Com a chegada da revolução industrial, período que trouxe mudanças intensamente massivas e rápidas, máquinas multiplicaram os volumes

de extração de recursos e produção. A industrialização foi projetada para ser uma economia linear – *cradle to grave* (do berço ao túmulo) (**Figura 1**), dando início a uma corrida acelerada para extrair, produzir e consumir. Buscou-se velocidade na eficiência da produção e obsolescência nos produtos (SENAI-SP, 2020). Foi neste período que os impactos ambientais se agravaram, passando de um problema local para tornar-se planetário. Não apenas pelo volume de resíduos lançados ao meio ambiente, mas também pela consolidação global do capitalismo vigente (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008). O consumismo integrou-se ao sistema de socialização das pessoas, tornando-se um dos problemas crônicos da sociedade para o agravamento dos impactos ambientais (FILHO, 2008).

Ambientalistas têm questionado o crescimento industrial, seu uso ganancioso de recursos e desintegração do meio ambiente (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). Instituições governamentais abrandam problemas ambientais e sociais em suas políticas e programas. Os esforços para o desenvolvimento sustentável precisam ser complementados por corporações, cabendo as empresas se responsabilizarem pelos seus impactos para além das responsabilidades estabelecidas governamentalmente. As empresas detentoras de lucros por meio da extração de recursos naturais possuem recursos financeiros e tecnológicos para amenizar seus impactos e trazer soluções sustentáveis. Por outro lado, a competitividade e lucratividade também são impulsores para a implementação da sustentabilidade, principalmente à medida que os consumidores se tornam cada vez mais informados, conscientes e exigentes. Deste modo, a sustentabilidade torna-se uma questão fundamental para a sobrevivência das empresas (NEUMANN; MARTINEZ; MARTINEZ, 2020).

**Figura 1.** Estrutura da economia linear



**Fonte:** (IDEIA CIRCULAR, [s.d.])

O sistema de produção linear (**Figura 1**) não integra os ciclos naturais, que se regeneram, se auto equilibram. A busca de melhorias deu espaço à novas estratégias

econômicas, ambientais e técnicas, como o desenvolvimento do conceito Produção Mais Limpa. Trata-se da integração dos sistemas de produção e produto, direcionados à minimização dos impactos ambientais e econômicos, por meio da não geração ou reciclagem de resíduos e aumento da eficiência do emprego de insumos orientados à caminhos mais limpos de produção e consumo (PEREIRA; LIMA; RUTKOWSKI, 2007). A Ecologia Industrial surge com o intuito de integrar o sistema industrial ao ambiental, ampliando a percepção de seus fluxos ao abordar que a extração dos recursos sai da natureza e eventualmente retornará a ela. Este conceito considera os resíduos insumos para outros processos, pensado estrategicamente na circularidade dos materiais. Desta forma, a ecologia industrial engloba os campos de pesquisa e ação. A substituição de processos isolados para integrados pode ser chamado de ecossistema industrial. O objetivo da ecologia industrial é construir uma rede de processos industriais à luz do ecossistema natural, imitando o fechamento do ciclo biológico. Em outras palavras, trata-se da construção de inter-relações entre empresas, produtos e processos, em escala local, regional ou global integrada ao sistema ambiental. Para implementação deste sistema circular (**Figura 2**), é imprescindível o estudo do fluxo de materiais e energia em seu percurso de transformação em produto, subproduto e geração de resíduos. Para uma análise sistêmica tanto do produto quanto do processo, as principais ferramentas são a Avaliação do Ciclo de Vida e o Projeto para o Meio Ambiente (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

#### **4.1.3. Economia circular**

Alinhada aos conceitos de sustentabilidade e ecologia industrial, a economia circular busca redesenhar produtos e serviços pensado desde a extração da matéria prima ao descarte no final de vida útil de cada recurso. Sua inovação encontra-se não apenas em evitar danos ao meio ambiente, mas também na restaurar o capital natural. Os resíduos tornam-se matérias-primas promovendo o fechamento do fluxo de materiais (SENAI-SP, 2020). Segundo a Fundação Ellen Macarthur, há três princípios que baseiam a economia circular; (i) eliminação de desperdícios e poluição, (ii) produtos e materiais circulares (em seu valor mais alto) e (iii) regeneração da natureza (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, [s.d.]).

Este conceito preconiza projetar processos industriais reduzindo, reutilizando ou reciclando os recursos empregados ao longo dos processos produtivo, de distribuição e consumo. Não se trata apenas da redução de impactos, mas de melhorias no projeto de

design de produto e produção. (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). De tal modo, os recursos precisam ser bem aproveitados com um fluxo circular sistematizado para o reaproveitamento de resíduos (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017; KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). O sistema promove a capacidade de regeneração dos materiais que podem ser orgânicos ou renováveis, projetados para a reutilização ou reinserção em uma nova cadeia produtiva para perda mínima de qualidade ou valor (GAZZOLA et al., 2020).

A abordagem da economia circular impacta diretamente os setores econômicos e a indústria da moda é amplamente afetada (GAZZOLA et al., 2020). O conceito de economia circular consiste na regeneração e restauração da economia global por meio de intenções estratégicas e design direcionados aos desperdícios de recursos (GAZZOLA et al., 2020; WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018). Trata-se da transição de um sistema que deixa de ser linear para se tornar circular. Ocorre por meio da estruturação do sistema produtivo que seja ambientalmente adequado e economicamente sustentável, dentro e fora da empresa. O sistema circular insurge o padrão tradicional das empresas dando protagonismo ao gerenciamento dos recursos para além da produção interna (GAZZOLA et al., 2020).

A fechamento do ciclo no sistema da economia circular é pensado de berço a berço, conceito conhecido como *cradle to cradle*. Existem dois tipos de fechamento de ciclos: o biológico, onde os materiais retornam com segurança para a biosfera, e o ciclo técnico que prevê reparação, redistribuição, reciclagem, remanufatura ou reutilização (**Figura 2**) (MCCANN, 2015; SENAI-SP, 2020). O processo de inovação passa pelas etapas de seleção de materiais até o design dos produtos ou serviços (SENAI-SP, 2020).

**Figura 2.** Estrutura da economia circular

Fonte: (IDEIA CIRCULAR, [s.d.])

O conceito de economia circular tem recebido cada vez mais adeptos entre empresas, governos e organizações (SLAPER; HALL, 2011). As expectativas são de crescimento econômico a partir da criação de novas oportunidades de negócio, economia nos custos e redução de impactos ambientais (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Contudo, avaliar o grau das ações é de difícil mensuração para identificar o desenvolvimento sustentável nas corporações (SLAPER; HALL, 2011). Uma forma de mensurar o sucesso estratégico em um produto é o Indicador de Circularidade de Materiais (ICM). A ferramenta determina a circularidade por meio do conjunto de cinco características: (i) utilização de material virgem; (ii) utilização de materiais reciclados ou reutilizados; (iii) eficiência para o processo de reciclagem; (iv) porção irrecuperável que se destina à aterros ou incineração; e (v) fator de utilidade (MODEFICA; FGVCES; REGENERATE, 2021). Outra ferramenta é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permite mapear, comparar e avaliar o impacto dos produtos em todo ciclo de vida (PEREIRA, 2017).

Dados de 2018 indicaram que a implementação das estratégias para a circularidade poderia promover a redução das emissões de carbono em 56% até 2030. O documento do acordo global Agenda 2030 exige diversas estratégias circulares, assim como outras organizações; União Europeia, Comissão Europeia, Organização para a

Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), Organização Internacional da Normatização. No Brasil, a Associação de Normas Técnicas (ABNT) está desenvolvendo normatizações para estruturas e ferramentas aos projetos de economia circular (SENAI-SP, 2020). São diversas as estratégias e ferramentas para a implementação da economia circular, que serão aprofundadas no tópico *Design Circular de Produto* deste capítulo.

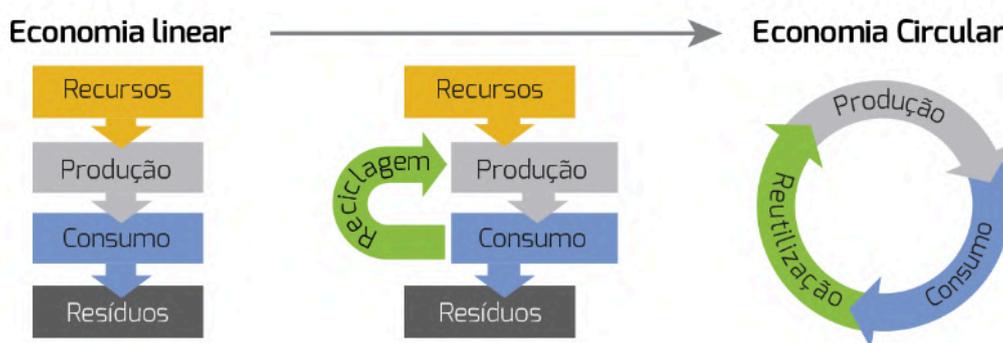
#### 4.1.4. *Moda sustentável*

A indústria da moda possui uma força econômica mundialmente significativa, representa um negócio global de 1,3 trilhões de dólares. É um mercado competitivo que atingiu rápido crescimento e atravessou grandes transformações (GAZZOLA et al., 2020). A dimensão de sua importância tem a mesma proporção de seus impactos, é a segunda indústria mais poluente do mundo responsável por uma grande extração de recursos naturais, utilização de energia e água (MOTA; SILVA; JÚNIOR, 2017; NEUMANN; MARTINEZ; MARTINEZ, 2020). Anualmente, consome mais de 98 milhões de toneladas de recursos não renováveis, incluindo o petróleo (GAZZOLA et al., 2020). É caracterizada por transformar insumos em produtos de vestuário e possui uma cadeia composta por etapas inter-relacionadas, onde cada uma contribui para o desenvolvimento da seguinte. Tais etapas são constituídas pela produção da matéria-prima, processo industrial de transformação e mercado consumidor (ANDRADE; BEZERRA; LANDIM, 2015). No mercado de moda os consumidores exercem um papel norteador, que guiam as rápidas transformações para atender suas demandas (GAZZOLA et al., 2020; RASMUSSEN, 2020). A compulsão no consumo de produtos de moda da sociedade contemporânea impulsionou o crescimento do mercado *fast fashion*, fenômeno responsável pela produção de produtos de baixa qualidade para garantir preços baixos e atendimento ao sistema *just in time*, tecnologia que garante o lançamento de tendências no menor prazo de tempo possível (GWILT, 2015). Este modelo de produção linear (**Figura 1**) só é sustentável pelo ponto de vista produtivo (GAZZOLA et al., 2020).

Em contrapartida, os consumidores vêm apresentando uma crescente preocupação com os impactos ambientais e sociais gerados pela moda, o que tem influenciado em suas decisões de compra (NEUMANN; MARTINEZ; MARTINEZ, 2020). Em paralelo as demandas globais advindas de instituições governamentais e não governamentais, os consumidores têm impulsionado as transformações na indústria da moda. Nos últimos anos, sustentabilidade tornou-se uma das tendências mais importantes e está no centro do debate científico e institucional (GAZZOLA et al., 2020). Ao se tratar do conceito de

moda sustentável, percebe-se um conflito na junção desses dois termos, visto que seus conceitos em separado se opõem. A adesão à sustentabilidade implica na alteração de sua dinâmica, sendo essencial uma mudança estrutural em sua cadeia (VADICHERLA; SARAVANAN, 2015). A transição de sistema linear para o sistema circular (**Figura 3**) envolve a utilização de fontes de energia renováveis, minimização de resíduos e poluição, regeneração de sistemas naturais e manutenção de produtos e materiais em uso. Implica na transformação de modelos de negócios tradicionais, incluindo o gerenciamento de recursos e a busca do equilíbrio entre desenvolvimento econômico, social e ambiental (GAZZOLA et al., 2020).

**Figura 3.** Transição da economia linear para a economia circular



**Fonte:** (ASSUNÇÃO, 2019)

Impulsionadas pelas imposições externas (governo, legislações e consumidores), as empresas direcionam esforços para transformar suas gestões socioambientais, que promovem ganhos econômicos (SCHERER; GOMES; CRESPIAM, 2009). Dentre as iniciativas apresentadas no mercado encontra-se o *slow fashion*, que projeta o ciclo prolongado dos produtos a partir de extensão da durabilidade, que pode ser atribuída a qualidade dos materiais ou até a utilização do *upcycling* (reaproveitamento de materiais descartados e/ou danificados) (GWILT, 2015). Se trata de uma moda mais lenta, com lançamentos atemporais, explora a produção artesanal, e promove a produção local e em baixa escala (MOTA; SILVA; JÚNIOR, 2017; QUARESMA; MOURA, 2016). A moda sustentável também é identificada como moda verde, eco ou ética, que incorpora também princípios de comércio justo, livres de mão de obra exploratória e emprego de materiais ecológicos ou reciclados (NEUMANN; MARTINEZ; MARTINEZ, 2020).

O aumento da demanda por produtos ecológicos tem dado espaço para a prática do *greenwashing*. O termo representa a tentativa das empresas de se diferenciar no mercado

competitivo, utilizando o “marketing verde” para alegar práticas ambientalmente sustentável quando na verdade as ações possuem baixo desempenho ambiental. O conhecimento superficial dos consumidores implica sobre o reconhecimento que valide as práticas indicadas pelas empresas (KOSZEWSKA, 2015). Uma forma de combater a prática do *greenwashing* é promovendo a transparências. Os selos e as certificações de sustentabilidade auxiliam essa atribuição, porém adquiri-las é um processo lento e de custo elevado (DAUDT, 2017).

A indústria da moda encontra-se distante de atingir o sistema circular, para direcionar valor aos materiais ao final da vida útil do produto. Há muitas empresas pioneiras em explorar a circularidade, contudo, esta transição é lenta e demanda logística, recursos técnicos e econômicos e soluções integradas e estruturadas (GAZZOLA et al., 2020).

## **4.2.Design e circularidade**

### **4.2.1. Design circular de produto**

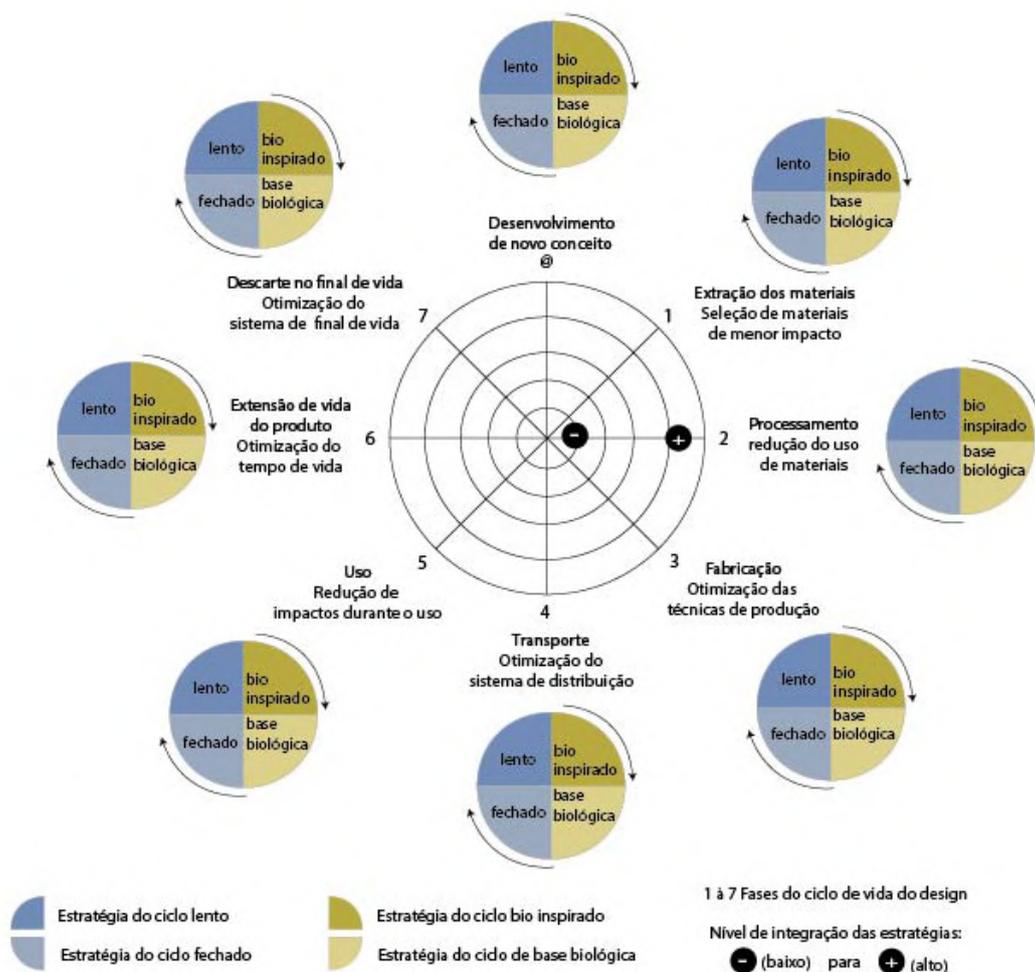
O design é considerado uma ferramenta fundamental para a implementação da economia circular. Muitas pesquisas desenvolvidas nesse campo apresentam uma variedade de estratégias para atingir os princípios do design circular. Grande parte da literatura atual que trata do design circular possui enfoques técnicos para contemplar a economia circular. Vale destacar que projetos de produto devem incorporar as questões relacionadas ao comportamento do consumidor, considerando seus desejos e necessidades (WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018). Além dos requisitos técnicos, ergonômicos e funcionais do projeto, a criticidade em torno dos materiais se faz eminente ao design (HERVA; ÁLVAREZ; ROCA, 2011).

Compreender o impacto de um produto na fase inicial do projeto viabiliza uma rápida avaliação de suas consequências ambientais. Além disso, diversos autores destacam a intervenção no estágio de tomada de decisão para contribuir e assegurar as prioridades nas ações, principalmente na manufatura (CHEAH et al., 2013). Novos designers já pensam em projetos com diretrizes mais sustentáveis, aplicando novos formatos e incorporando informações, considerando a capacidade do ecossistema e as questões socioambientais e de fluxos (ALESSIO et al., 2014). Estes profissionais devem ser os principais dirigentes na evolução dos processos industriais para redução dos impactos ambientais (KINDLEIN JÚNIOR; CÂNDIDO, 2009).

O êxito do design circular decorre da mudança estrutural do sistema e reconfiguração de pensamento, que englobe projeção de final de vida útil a partir de sistemas de devolução e coleta (MEDKOVA; FIFIELD, 2016). A projeção da manutenção possui o mesmo nível de importância, como a estratégia dos '3Rs' (reduzir, reutilizar, reciclar) que se propõe a reduzir o emprego de recursos, materiais e resíduos, e dar uma destinação de reciclagem ou reutilização para o final da vida útil do produto, evitando que este chegue no aterro sanitário (KINDLEIN JÚNIOR; CÂNDIDO, 2009; MEDKOVA; FIFIELD, 2016; MUTHU, 2013). Outra estratégia é pensada na chegada do material ao aterro de modo que não represente uma ameaça danosa ao meio ambiente a partir de sua degradação (MUTHU, 2013). A partir do desenvolvimento de processos contínuos e circulares, materiais e componentes chegam aos seus lugares corretamente de modo que prolongue a vida do produto e duplique ou até mesmo multiplique ciclos de vida (MEDKOVA; FIFIELD, 2016).

Como visto, autores apresentam várias estratégias para o design de produto circular, não existe uma solução única (MEDKOVA; FIFIELD, 2016). Trata-se de um conjunto de ferramentas promotoras do design à prova de futuro (WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018). Mestre e Cooper (2017) abordaram uma série de medidas que contribuem na tentativa de fechamento do ciclo para o design circular; design para desacelerar o ciclo, design para fechar o ciclo, design para o ciclo bio inspirado e design para ciclo de base biológica (**Figura 4**). Os autores apresentam o design circular como uma visão esperada para as próximas décadas.

**Figura 4.** Múltiplas medidas para o fechamento do ciclo em cada fazer do ciclo de vida do produto



Fonte: (MESTRE; COOPER, 2017)

Outras ferramentas são utilizadas para projetar a circularidade de um produto, onde os materiais são os protagonistas neste processo. Deste modo, uma abordagem mais específica é explorada no tópico a seguir.

#### 4.2.2. O protagonismo dos materiais e as métricas de circularidade

A vigência de um produto sustentável no mercado vai de acordo com a aceitação de seus usuários. Neste sentido, é importante destacar que apresentar produtos meramente voltados para as questões ambientais não garantem sua eficiência perante os consumidores (MANZINI; VEZZOLI, 2002). Um produto de moda requer a multidisciplinaridade entre as demandas advindas dos usuários. Além de tais demandas, o mercado de moda vive em uma busca constante em atender os desejos e aspirações dos

consumidores e acompanhar a velocidade de suas mudanças (RIBEIRO, 2007). O desenvolvimento de calçados que contemplem função, estética e capacidade de reprodução em grande escala dentro das diretrizes da sustentabilidade é uma questão de grande complexidade (GUARIENTI, 2018).

O surgimento de novos materiais vêm sendo uma temática de grande destaque na ciência e na tecnologia. Se dá uma especial atenção as projeções voltadas para o final de vida útil dos produtos, pois além de ser a fase responsável por maior identificação de possibilidade de impactos ambientais é a fase onde se relaciona o designer de produto e os produtores envolvidos. A abordagem sistêmica possibilita recursos que identificam os impactos do produto para reduzi-los com eficácia, ou seja, integra projeto e desenvolvimento de produto nas estratégias ambientalmente orientadas com interferência nos problemas de incerteza e custos de processamento ao final da vida útil dos produtos e seus insumos (MANZINI; VEZZOLI, 2002). A crescente conscientização ambiental é o que tem desencadeado o surgimento de novos materiais em contrapartida de materiais não renováveis, de difícil degradação ou não degradação. Uma diversidade de experimentos vem sendo aplicados por cientistas e pesquisadores para substituir os sintéticos (SATYANARAYANA; ARIZAGA; WYPYCH, 2009).

O conceito *cradle to cradle* é embasado na biomimética. Considera a circularidade de todos os materiais empregados nos processos ao longo do ciclo de vida do produto e os categoriza em biológicos e técnicos. Os materiais biológicos são orgânicos e podem ser devolvidos à biosfera com segurança, já os materiais técnicos são inorgânicos ou sintéticos aptos a reciclagem ou degradação (MESTRE; COOPER, 2017). Nas diretrizes do *Cradle to Cradle* os materiais estão entre as principais áreas exploradas (JACQUES; GUIMARÃES, 2012).

Para mensurar a circularidade dos materiais existe o Indicador de Circularidade de Material (ICM) que estabelece um valor a partir do Índice de Fluxo Linear para identificar produtos com tempo de vida curto e/ou de baixa utilidade (KOVACIC et al., 2019). Os valores obtidos a partir do ICM variam entre zero e um; o menor valor representa a completa linearidade do fluxo, o maior valor indica completa circularidade do fluxo. As ferramentas de ACV e ICM podem ser combinadas ao considerar que muitos dados são idênticos. A aplicação do Indicador de Circularidade (IC) orienta os designers de produto nas tomadas de decisão. Consiste em uma ferramenta destinada a medir o progresso da circularidade do produto e é destinada a ciclos técnicos e materiais não renováveis (MEDKOVA; FIFIELD, 2016).

O *cradle to cradle* e a ACV contribuem parcialmente para indicar a circularidade dos materiais, pois não incluem a criticidade do material. A ACV mede os impactos ambientais do produto, já o *cradle to cradle* visa estratégias pós consumo para nutrientes biológicos e técnicos. Para que a economia circular elabore um ciclo fechado adotando a perspectiva do fluxo de material, é fundamental mensurar os impactos dos recursos em toda cadeia (antes, durante e depois da vida útil do produto) por meio da combinação de ferramentas capazes de orientar de maneira mais eficiente, como visto na **Figura 5** (MEDKOVA; FIFIELD, 2016).

**Figura 5.** Indicadores de complexidade e relevância da circularidade



**Fonte:** (MEDKOVA; FIFIELD, 2016)

A compreensão das propriedades dos materiais é fator norteador para projeção de ciclo de vida e gerenciamento de descarte final do calçado, tendo em vista a diversidade de materiais que contemplam o seu processo produtivo. Polímeros, borrachas naturais, couro cromo free, biopolímeros e termoplásticos biodegradáveis estão sendo aplicados em calçados a fim de reduzir a geração de resíduos durante todo o percurso produtivo do calçado, com destaque para o final da sua vida útil (STAIKOS et al., 2006).

O desenvolvimento de produtos a partir de materiais biodegradáveis requer uma degradação completa e segura ao ser depositado no meio ambiente. Os materiais precisam ser claramente caracterizados e suas informações asseguradas para que sejam diferenciados dos materiais sintéticos e não degradáveis (FLETCHER, K.; GRASE, 2011)

Bozano e Oliveira (BOZANO; OLIVEIRA, 2011) relatam que os materiais utilizados na construção do calçado podem vir a influenciar diretamente nos aspectos ergonômicos percebidos, sendo grande parte deles os principais responsáveis por desconfortos e possíveis doenças nos pés, pernas e, até mesmo, na coluna. Acrescenta-se a relevância que a funcionalidade do calçado e o movimento dos pés possuem dentro dos parâmetros ergonômicos definidos, visto que, os materiais tornaram-se mais rígidos e menos eficazes na atenuação das forças aplicadas (BRODSKY et al., 2012; WITANA; FENG; GOONETILLEKE, 2004). Por outro lado, essa análise ergonômica ocasiona o estreitamento das possibilidades no emprego dos materiais, tal fator limitador contribui como item importante à inovação (WITANA; FENG; GOONETILLEKE, 2004). Um aprofundamento destas questões é apresentado no item 4.3.4 (*Requisitos ergonômicos e de conforto no desenvolvimento de componentes de calçados*).

#### **4.2.3. O fechamento do ciclo técnico e biológico**

Para tratar de fechamento de ciclo para o design circular é fundamental compreender o conceito *cradle to cradle*, onde os materiais são pensados como nutrientes para fecharem um ciclo e iniciar outro, assim como funciona a natureza e seu ecossistema. Deste modo, os produtos de consumo são pensados para retornarem como materiais (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). O objetivo da implementação desse sistema é não produzir resíduos inúteis e potencialmente perigosos ao meio ambiente, poupar materiais valiosos ao longo do tempo, reduzir a extração de matérias-primas e tratar resíduos como nutrientes para ciclos constantes (BRAUNGART et al., 2017).

A circularidade de materiais pode ser projetada para que os resíduos resultem em dois tipos de matéria: biológica e técnica (**Figura 6**). Os produtos podem ter composição tanto de nutrientes técnicos como biológicos, porém se simultâneos e de inviável separação podem contaminar os processos um do outro. Para alguns produtos essa configuração híbrida é inevitável e deve ser projetada com especial atenção (BRAUNGART et al., 2017). As redes de fluxo de informações compartilhadas entre os atores da cadeia de valor viabilizam a utilização do conhecimento para elevar a produtividade desses materiais (KARA et al., 2022).

**Figura 6.** Ciclo biológico (esquerda) e ciclo técnico (direita) de produtos de consumo



Fonte: (IDEIA CIRCULAR, 2017)

O fechamento do ciclo biológico ocorre quando a matéria é projetada para ser devolvida à biosfera com segurança. Sua inserção ao metabolismo orgânico nutre o ciclo por meio da ação de microrganismos, são compostados para a biodegradação. Já o fechamento do ciclo técnico a matéria é gerada para sua reutilização contínua sem contaminação ou desvalorização, ela retorna para o metabolismo industrial por ter valor agregado e múltiplos períodos de uso (**Figura 6**) (ABDALLA; FREIRE SAMPAIO, 2018; BRAUNGART et al., 2017).

Desenvolver produtos pensados para a circularidade exige modelos de negócios inovadores, com design criativo e seleção criteriosa de componentes químicos para configurarem uma equação coerente com sua destinação final. Cabe ao empreendedor o investimento em inteligência e qualidade de projeto para depreender as demandas para a concepção de uma inovação de produto circular (BRAUNGART et al., 2017).

### 4.3. A indústria calçadista

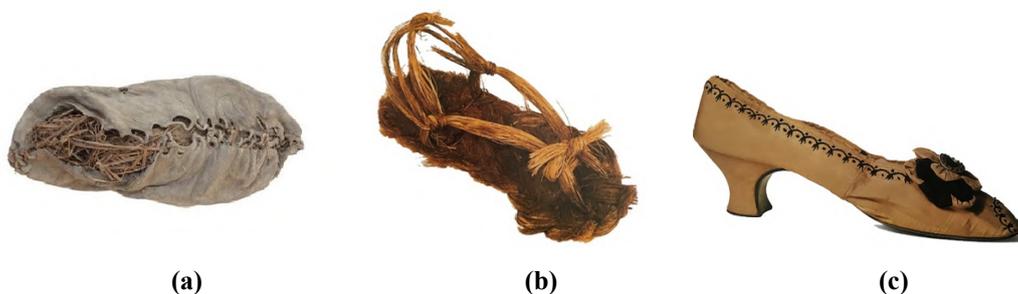
#### 4.3.1. A evolução da construção do calçado e o emprego de materiais

Integrado ao desenvolvimento da humanidade, o calçado faz parte da evolução do homem e sofre diversas mudanças de configuração no decorrer dos anos. Ao longo da

história, seu design passa por uma grande variedade de formatos e materiais para se adequar as necessidades dos indivíduos, influenciados pela condição cultural, social, climática e de atividade. Para além de sua funcionalidade, o calçado sempre representou signos sociais que comunicam vaidade, poder, classe social, religiosidade, entre outros. Portanto, o calçado sofreu e sofre consecutivas adaptações a partir de comportamentos e valores sociais (SABINO, 2007; VASS; MOLNÁR, 2006), bem como por impulsos tecnológicos advindos de maquinários e pelo surgimento de novos insumos (BARCELLOS, 2016).

Há milhões de anos, os primitivos empregavam couro cru, tecidos e madeiras para proteger seus pés. O primeiro processo produtivo de calçados, que se tem registrado, dava-se de um processo simples, composto por uma peça única de couro que envolvia todo pé (**Figura 7a**). Com o tempo foram empregadas solas de madeira e fibras vegetais trançadas (**Figura 7b**) além do couro. A partir de então, expandiu-se diversas maneiras de fazer o calçado e as sandálias se mantiveram por longo período predominantes. A necessidade de proteção dos pés foi impulsionada pelas condições climáticas entre diferentes regiões e pelas ocasiões de uso, o que proporcionou o desenvolvimento do calçado fechado, com sola fixada lateralmente, originando o sapato. Posteriormente a bota surgiu como uma variação do sapato, que protegia os tornozelos. Aos poucos foram implementados cortiça, tecidos, saltos, abotoaduras e adornos, ampliando a diversidade de modelos de calçados (**Figura 7c**) (MENA, 2012a).

**Figura 7.** (a) Calçado em couro em 3.500 a.C (b) Sandália pré-histórica de fibras vegetais (c) Sapato de salto feito com tecidos e bordados, de 1875



**Fonte:** (a) (MUSEU DO CALÇADO, [s.d.]) (b) (c) (O'KEEFFE, 2008)

Os calçados eram produzidos manualmente e sob medida (**Figura 7a**). Foi em 1900 que se deu início a produção manual em série, juntamente com a fabricação de fôrmas escaladas. Em 1872, Charles Goodyear, nos estados Unidos, já realizava o primeiro

experimento de mecanização para a produção de calçados em série, que se instalou nas fábricas em 1910. Outro marco na evolução da produção calçadista foi o surgimento das solas vulcanizadas em 1935, que aos poucos foi substituindo a sola de couro, principalmente por serem comprovadamente isolantes de umidade e possuírem maior durabilidade. Inicialmente a vulcanização era feita diretamente sobre o corte montado, mas com o tempo foi a pré-vulcanização que predominou neste tipo de fabricação. Logo em seguida foi descoberta a borracha termoplástica derivada do petróleo, onde deu-se início a fabricação de solas injetadas. Em 1940 foram fabricadas as primeiras solas coladas. As colas eram de látex e apresentavam muitos problemas de qualidade devido ao descolamento provocado pela umidade do ambiente, até que foram lançadas as colas sintéticas que se tornaram as mais eficientes na fixação da sola no calçado. Com a expansão do consumo de tênis, a vulcanização autoclave surge para melhorar a fixação da borracha em calçados de tecido (MENA, 2012b).

A partir de 1950, chega ao mercado uma grande propagação de novos sistemas de fabricação, que ampliaram as possibilidades e deram novas configurações ao calçado. As primeiras máquinas de injeção são inseridas nas fábricas de calçados e dando início a uma nova era de materiais. Em 1960, o PVC entra para concorrer com a borracha e os acrílicos e acetatos transparentes começam a ser aplicados em cepas, saltos e anabelas. O náilon apresentou alta resistência em saltos finos e o ABS foi inserido com exclusiva capacidade de metalizar-se. A partir de 1960, os poliuretanos dominaram o mercado de cepas e solas com sua grande capacidade em imitar qualquer efeito de outros materiais, inclusive da cortiça (MENA, 2012b). A explosão dos materiais sintéticos aconteceu com o desenvolvimento da indústria petroquímica, assim, os laminados passaram a substituir o couro e a tecnologia de alta frequência permitiu novos caminhos de design (MENA, 2012b; SILVESTRIN; TRICHES, 2007). Novas formas de injeção do PVC lançaram o “boom” do calçado 100% de plástico, sendo o Brasil o líder em inovação neste seguimento. Ao conseguir baixa densidade com o PVC expandido microporoso, o material foi empregado na fabricação de chinelos e nenhum outro conseguiu supera-lo desde então. Em 1992, dois fabricantes espanhóis conseguiram controlar o crescimento do EVA injetado, expandindo suas possibilidades de aplicação (MENA, 2012a). A cronologia do emprego dos materiais no calçado pode ser observada no **Quadro 1**, onde demonstra a predominância de couro, tecidos e borrachas no decorrer das décadas do século XX. Observa-se também que a partir de 1970 a diversidade de materiais se manteve, e assim segue até os dias atuais. Oliveira (2018) aponta as inovações técnicas e

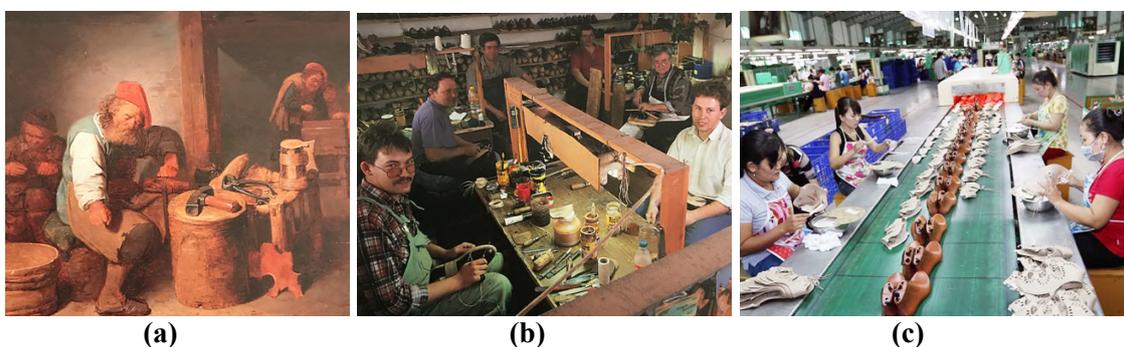
tecnológicas como propulsoras da evolução do processo produtivo (**Figura 8**), que se modifica no decorrer dos lançamentos de máquinas e insumos, além do aperfeiçoamento técnico. As inovações da indústria calçadista atingem todos os clusters produtivos, ou seja, todos os fornecedores adotam a implementação de novos materiais e processos.

**Quadro 1.** Utilização de materiais em calçados da década de 1930 a 2000

1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Couro	Couro	Couro	Couro	Couro	Couro	Couro	Couro
Tecidos	Tecidos	Tecidos	Tecidos	Tecidos	Tecidos	Tecidos	Tecidos
Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada
	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada
			PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
			Acrílicos, acetatos e náilon				
			ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
				PU	PU	PU	PU
				Borracha termoplástica	Borracha termoplástica	Borracha termoplástica	Borracha termoplástica
				Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano
				termoplástico	termoplástico	termoplástico	termoplástico
				EVA	EVA	EVA	EVA

**Fonte:** Adaptado de (VIANA; ROCHA, 2006).

**Figura 8.** (a) Oficina de calçados em 1684 (b) Sapateiros em oficina artesanal (c) Produção industrial de calçados



**Fonte:** (a) (b) (VASS; MOLNÁR, 2006) (c) (ARSUTORIA MAGAZINE, 2017)

Apesar das inovações tecnológicas, o processo de manufatura ainda guarda diversas atividades características do processo manual. A substituição do homem pelas máquinas não foi tão significativa, já que ainda há uma grande demanda de sua participação no

processo (BARCELLOS, 2016; TOMASSINI, 2011). Embora as etapas da construção e a demanda artesanal perdurem, o calçado industrializado possui qualidade distinta dos calçados artesanais (VASS; MOLNÁR, 2006). O processo industrializado contribuiu para a redução dos preços e do tempo de produção (OLIVEIRA, 2018), além de dispensar a necessidade de artesões versáteis e habilidosos (GERVAL, 2008).

A construção de um calçado pode envolver mais de 100 operações em seu processo, a depender das técnicas adotadas (O'KEEFFE, 2008). Essas etapas são estabelecidas em função das matérias-primas que serão empregadas, as quais podem ser divididas em quatro categorias básicas: Injetados, couros, sintéticos e têxteis. Os calçados injetados exigem um processo de baixa complexidade e pouca mão de obra, uma vez que as máquinas desempenham a produção do calçado com capacidade de resumir as etapas em praticamente um único processo. Já os calçados que empregam couros, sintéticos e têxteis geralmente exigem a junção de sola e cabedal (**Figura 9**) (TOMASSINI, 2011).

**Figura 9.** Divisão superior e inferior dos componentes de calçados



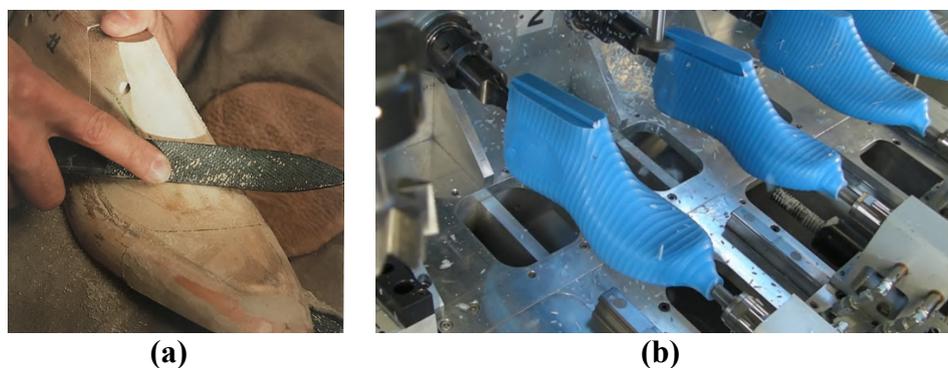
**Fonte:** (DANESE et al., 2011)

Os elementos que compõem um calçado são divididos em duas partes: a superior e a inferior. A parte superior é composta por cabedal e fôrma, já a parte inferior é composta pelos elementos como palmilha, sola e salto (**Figura 9**) (DANESE et al., 2011). Uma explanação mais específica sobre componentes de calçados é apresentada no item 4.3.4 (*Requisitos ergonômicos e de conforto no desenvolvimento de componentes de calçados*). Pela complexidade operacional de cada elemento, o salto, a forma e a palmilha

possuem setores especializados e são produzidos separadamente (GERVAL, 2008). Ou seja, a fábrica de calçados geralmente recebe os elementos prontos e desenvolve apenas o cabedal para efetuar a montagem do calçado.

A primeira etapa da construção do calçado, a mais importante, é o desenvolvimento da fôrma: estrutura base moldada em plástico (**Figura 10a**) ou talhada em madeira (**Figura 10b**) a partir da réplica do pé humano, determinando a curva do solado e a distribuição do peso plantar. Cada tipo de calçado exige uma fôrma específica, porém o maior desafio em sua elaboração é unir beleza ao seu formato sem comprometer as medidas que garantem o conforto ao usuário (O'KEEFFE, 2008). O desenvolvimento da fôrma é o elemento principal da construção do calçado, é imprescindível possuir uma fôrma para cada tipo de calçado, e posteriormente, para cada numeração da grade de tamanhos (GERVAL, 2008).

**Figura 10. (a)** Fôrma de madeira talhada à mão **(b)** Fôrma moldada em plástico

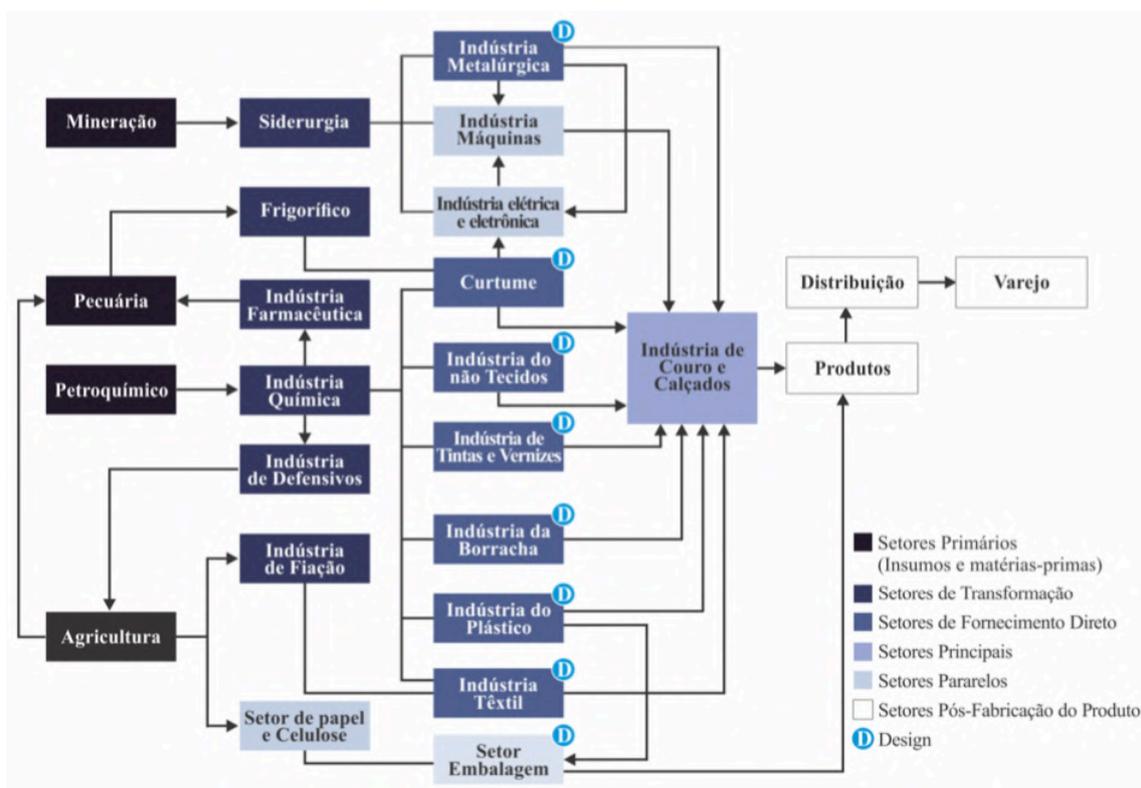


**Fonte:** (a) (VASS; MOLNÁR, 2006) (b) (NEWLAST GROUP, 2017)

A segunda etapa trata-se da confecção do cabedal, o qual envolve o processo de desenho, modelagem, corte e costura. A modelagem transforma o design projetado em modelo de cabedal, em que exige referências técnica específicas para garantir conforto e estética (LIGER, 2015). Os processos de corte e costura se resumem ao corte da matéria-prima a ser empregada no cabedal a partir das peças extraídas da modelagem, e na sequência, a junção das partes cortadas que compõem o cabedal por meio de costura e/ou colas (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2020). Por conseguinte, o calçado passa para a etapa de montagem. Se trata do processo de junção do solado com o cabedal sob a fôrma, além da fixação das demais peças que o compõem. Na fase de acabamento, etapa final do processo, o calçado é retirado da fôrma e recebe aplicação de óleos, pastas e/ou pinturas, conforme resultado pretendido (BARCELLOS, 2016).

A cadeia produtiva do calçado relaciona-se com diversos setores industriais que constituem a formação de uma rede de fluxo de abastecimento. A variedade de materiais e processos é o que proporciona esse abastecimento fragmentado. Os principais setores são a indústria têxtil, curtumes, indústria dos laminados (não tecidos), indústria de plásticos e borrachas (**Figura 11**) (SILVESTRIN; TRICHES, 2007).

**Figura 11.** Sistema de inter-relações industriais do setor coureiro calçadista



Fonte: (JUNIOR; XIMENES, 2018)

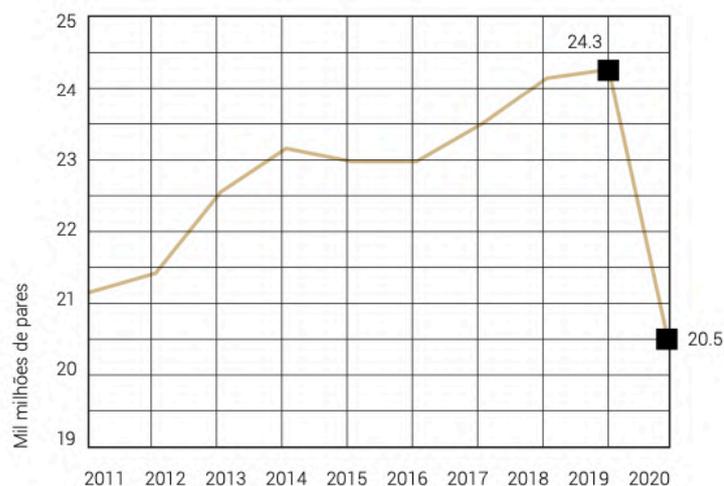
O fluxograma elaborado pelo SENAI SP Design (**Figura 11**), citado por Junior e Ximenes (2018), apresenta os elos da cadeia produtiva de calçados e couro, demonstrando a diversidade de setores que envolve desde fornecedores de matérias-primas e insumos até setores de embalagens.

#### 4.3.2. A produção calçadista mundial

A produção mundial de calçados possui um histórico relevante de crescimento, influenciado principalmente pelo desempenho da China, que aumentou sua produção em 78% entre os anos de 1993 e 1998. Neste mesmo período, a produção mundial registrou um crescimento de 10%, sendo a China o país responsável por 50% da produção mundial em 1998 (ANDRADE; CORRÊA, 2001). O setor atingiu uma média anual de crescimento de 2,2% entre os anos de 2010 e 2019 (APICCAPS, 2020), o que demonstra

o ritmo acelerando no decorrer das décadas. Dados de 1998 registraram uma produção mundial de 10.979 milhões de pares (ANDRADE; CORRÊA, 2001), já em 2019 a produção chegou a 24.3 milhões de pares (APICCAPS, 2020). Em 2020, a crise econômica decorrente da pandemia do vírus COVID-19 promoveu uma queda nas vendas do varejo mundial estimada em 19%, porém com o avanço da vacinação, a expectativa foi de que o setor retomasse com um aumento de 12% em 2021 (ABICALÇADOS, 2021). A expectativa atual é de que a retomada, aos níveis pré-pandemia, só aconteça a partir de 2025, já que os consumidores estão comprando de forma mais cautelosa, sobretudo com o aumento do desemprego e o baixo nível de investimentos das empresas (ABICALÇADOS, 2022). Em termos de produção global, só em 2020 o mercado teve 15,8% de queda com o atravessamento da pandemia, o equivalente a todo o crescimento acumulado da década anterior (**Figura 12**) (APICCAPS, 2021b) O crescente custo dos materiais tem promovido expectativa de elevação dos preços, ocasionado pelos aumentos do preço de energia e inflação, somado as rupturas nas cadeias de abastecimento (WORLD FOOTWEAR, 2022).

**Figura 12.** Produção mundial de calçados (2011-2020)



**Fonte:** (APICCAPS, 2021a)

A Ásia concentra a maior parte da produção mundial, correspondendo à mais de 87,6% do total. A China continuou sendo a líder mundial, com 54,3% do mercado, seguida da Índia (10,2%), Vietnã (6,4%) e Indonésia (5,1%). O Brasil se encontra em quinto lugar, responsável por 3,7% da produção mundial (**Tabela 1**) (APICCAPS, 2021b).

**Tabela 1** - Ranking top 10 dos produtores calçadistas do mundo (quantidade 2020)

POSIÇÃO	PAÍS	PARES (MILHÕES)	QUOTA NO MUNDO
1	CHINA	11 118	54.3%
2	ÍNDIA	2 080	10.2%
3	VIETNAME	1 320	6.4%
4	INDONÉSIA	1 036	5.1%
5	BRASIL	764	3.7%
6	TURQUIA	487	2.4%
7	PAQUISTÃO	483	2.4%
8	BANGLADESH	423	2.1%
9	MÉXICO	165	0.8%
10	IRÃO	165	0.8%

**Fonte:** (APICCAPS, 2021a)

O consumo interno de calçados na Ásia absorve mais da metade de sua produção, já a Europa e a América do Norte consomem cerca de 13% cada, da produção mundial. A África absorve quase 11%, a América do Sul pouco se aproxima dos 6% e a Oceania chega próximo à 1%. Os dados mostram uma melhor distribuição entre os continentes, quando se comparado a produção. O maior consumo per capita está na América do Norte, com 4,3, seguido da Oceania (3,7) e Europa (3,5). Já a América do Sul possui 2,5, a Ásia 2,3 e a África 1,5. A maior perspectiva de crescimento de consumo de calçados está nos continentes de menor índice per capita, como Ásia e África. A China, além de ser o líder mundial de produção de calçados, está no topo entre os países que mais consomem calçados devido a sua enorme população, passando da marca de 20% do consumo da produção mundial, assim como a Índia que se encontra em segundo lugar (10,6%). A presença dos Estados Unidos é justificada pela sua riqueza, que proporciona maior poder aquisitivo à população (9,6%) (**Tabela 2**) (APICCAPS, 2021b).

**Tabela 2.** Ranking top 10 dos países consumidores de calçados (Quantidade 2020)

POSIÇÃO	PAÍS	PARES (MILHÕES)	QUOTA NO MUNDO
1	CHINA	3 942	20.8%
2	ÍNDIA	2 006	10.6%
3	EUA	1 830	9.6%
4	INDONÉSIA	821	4.3%
5	BRASIL	691	3.6%
6	JAPÃO	584	3.1%
7	PAQUISTÃO	476	2.5%
8	ALEMANHA	372	2.0%
9	BANGLADESH	365	1.9%
10	RÚSSIA	324	1.7%

**Fonte:** (APICCAPS, 2021a)

Dentre os principais exportadores de calçados, a China se manteve na liderança. Em 1998 já possuía participação de 50% no mercado (ANDRADE; CORRÊA, 2001), já em dados de 2020 o país concentrou 61,1%, fazendo parte dos 82,3% da quota da Ásia. Os Estados Unidos são o líder mundial em importação, com participação em 17,6%, em seguida da Alemanha (6%) e do Japão (4,9%) (APICCAPS, 2021b). As restrições comerciais ocasionadas para contenção do corona vírus impactaram na exportação mundial, estimando-se uma queda de 21,4% em 2020. As expectativas para 2021 era de uma retomada de 8,0% (ABICALÇADOS, 2021).

A evolução da produção de calçado em materiais têxteis vem se destacando no comércio internacional onde atualmente representam um terço dos calçados comercializados, com um aumento de 80% entre 2010 e 2019. Apesar da queda dos calçados em plástico e borracha no mesmo período (-1,7%), eles ainda correspondem à 47,5%, já os calçados de couro tiveram uma queda mais acentuada (-8,1%) e preços mais elevados para exportação (APICCAPS, 2020).

As principais feiras comerciais do mundo no setor de calçados acontecem duas vezes por ano, de acordo com as estações outono/inverno e primavera/verão. Se trata da concentração de empresas de diversos países com o propósito de promoverem os lançamentos de produtos de acordo com a estação. São elas The Mipel (Itália), NF Platform (Estados Unidos), Expo Riva Schuh International Shoe Fair (Itália), IFLS -

International Footwear and Leather Show (Colômbia), Couromoda (Brasil), Micam (Itália), Lineapelle (Itália) e Première Vision (França).

#### ***4.3.3. A produção calçadista brasileira***

O Brasil já esteve posicionado como o terceiro maior produtor de calçados do mundo, correspondendo a 4,7% da produção mundial em 1998 (ANDRADE; CORRÊA, 2001). O ápice do mercado calçadista brasileiro se deu com o salto de sua participação na exportação mundial, indo de 0,5% à 12,3% entre as décadas de 80 e 90 (SEVERO; CRUZ; OLEA, 2010). Entre os anos de 2014 e 2016 o setor acumulou uma retração de 9,4% em sua produção, perdendo sua posição no ranking mundial para países asiáticos (ABICALÇADOS, 2019). Em 1999, com a desvalorização da moeda vigente, o real, fez a comercialização para o mercado externo aumentar em 4,7% (SEVERO; CRUZ; OLEA, 2010).

Atualmente, o Brasil se encontra na quinta posição global, tanto como produtor quanto como consumidor. Com quota de 3,6% da produção mundial, registros de 2019 indicaram uma produção de 908 milhões de pares, já em 2020 764 milhões (**Tabela 1**) (APICCAPS, 2020, 2021a). A sua quinta colocação como consumidor mundial corresponde a 691 milhões de pares (**Tabela 2**) e consumo per capita de 3,2 em 2020 (ABICALÇADOS, 2022; APICCAPS, 2021a).

Os impactos econômicos ocasionados pela pandemia em 2020 reduziram a produção em 18,4%, atingindo principalmente uma elevação dos custos e falta de insumos. As previsões para 2021 apontaram uma recuperação entre 10% à 14% aproximadamente, porém a recuperação se deu um pouco abaixo do esperado com crescimento de 9,8% (ABICALÇADOS, 2021, 2022). As previsões para 2022 foram de um crescimento de 2,7% para um cenário otimista, enquanto o cenário pessimista aponta para uma retomada de mais 1,8% da produção (ABICALÇADOS, 2022).

**Tabela 3.** Dados da indústria calçadista brasileira

	VALOR		QUANTIDADE		PREÇO
	Milhões USD	Posição	Milhões Pares	Posição	USD
EXPORTAÇÕES	658	24	94	13	\$7.02
IMPORTAÇÕES	308	47	21	75	\$14.71
PRODUÇÃO			764	5	
CONSUMO			691	5	

**Fonte:** (APICCAPS, 2021a)

No último ano, o Brasil exportou 94 milhões de pares, ficando na 13ª posição no ranking mundial, já os calçados importados somaram 21 milhões de pares (**Tabela 3**) (APICCAPS, 2021a), resultado em que é pertinente destacar a vigência da lei *antidumping*, prática que protege o mercado interno da importação de calçados oriundos da China. Tal medida se trata de uma lei que estabelece uma taxa de U\$ 13,85 por par de calçado importado, conforme atualização em nota oficial do Diário da União do Governo do Brasil (GOVERNO DO BRASIL, 2021).

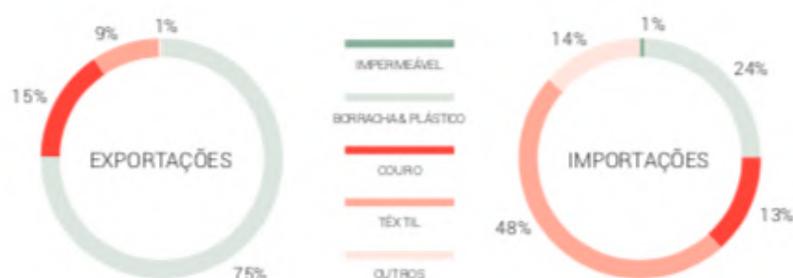
Os principais polos produtivos do país encontram-se distribuídos entre as regiões do nordeste, sul e sudeste, com maior concentração de volume produtivo no Nordeste (52,9%). O Ceará e a Paraíba são os estados que se destacam no Nordeste, onde a especialidade é em calçados de plástico e borracha produzidos por injeção, responsáveis por 26,7% e 14,4% da produção nacional respectivamente (**Tabela 4**). A região sul possui participação com 24,7%, conforme dados de 2020, já o Sudeste possui 21,5% tendo maior concentração no estado de Minas Gerais (16%). Vale destacar que o Paraná possui produção especificamente voltada para calçados de segurança (ABICALÇADOS, 2021).

**Tabela 4.** Participação produtiva por unidade federativa

PARTICIPAÇÃO EM PARES				
UNIDADE FEDERATIVA	2018	2019	2020	MILHÕES DE PARES 2020
CEARÁ	25,0%	24,4%	26,7%	203,9
RIO GRANDE DO SUL	22,0%	23,7%	21,2%	161,8
MINAS GERAIS	13,9%	15,9%	16,0%	122,0
PARAÍBA	18,2%	13,4%	14,4%	109,8
PERNAMBUCO	4,4%	5,4%	5,7%	43,4
SÃO PAULO	6,1%	6,0%	5,2%	40,0
BAHIA	5,0%	5,4%	5,1%	39,2
PARANÁ	1,4%	1,5%	1,9%	14,4
SANTA CATARINA	1,8%	1,9%	1,6%	12,2
SERGIPE	1,0%	0,9%	1,0%	7,6
OUTROS	1,3%	1,5%	1,2%	9,3
<b>BRASIL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>763,7</b>

Fonte: (ABICALÇADOS, 2021)

Dentre os materiais empregados nos calçados brasileiros o plástico/borracha é o predominante, compondo 53,9% da produção. Em seguida vem o laminado sintético (22,1%), couro (17%) e têxtil (6,6%) (ABICALÇADOS, 2022). Os calçados de plástico/borracha correspondem a 75% da exportação, o que reforça os indicadores sobre seu aumento participativo de 5,8% na produção entre 2019 e 2020. Apesar da notoriedade dos calçados de plástico/borracha, o material mais utilizado nos calçados importados no país é o têxtil, fazendo parte de 48% das importações. Os valores dos calçados de couro se mantem equilibrado, com 15% para importação e 13% para exportação (Figura 13) (APICCAPS, 2020).

**Figura 13.** Materiais empregados em calçados exportados e importados

Fonte: (APICCAPS, 2020)

Os tipos de calçados mais produzidos são chinelos (50,5%) e calçados sociais/casuais (35,1%). Os calçados esportivos representam 8,5% da produção, seguido dos calçados de segurança com 5,4% (ABICALÇADOS, 2021).

Anualmente acontecem diversos eventos específicos do setor calçadista no Brasil, como feiras de exposição de lojistas, materiais, tendências e novas tecnologias. Tais eventos fortalecem o comércio, promovem inovações e lançamento de produtos no mercado. As principais feiras são Couromoda, Francal, FIMEC, SICC, Zero grau e Inspiramais (ABICALÇADOS, 2020; ATACADO, 2021).

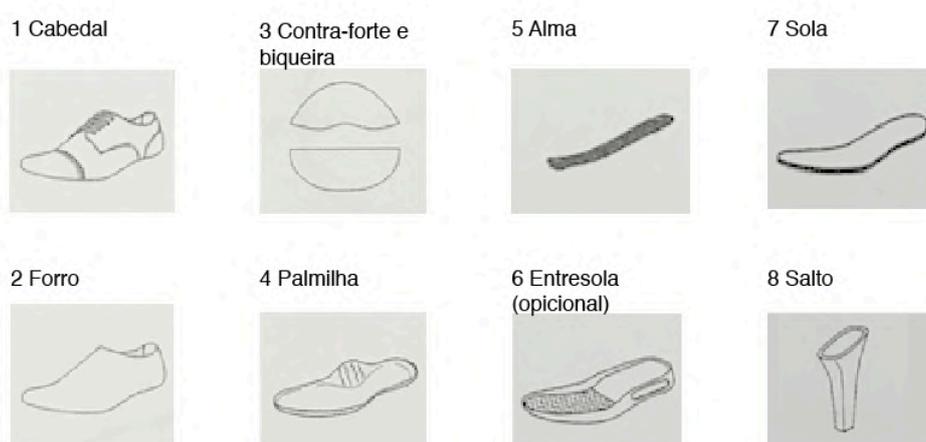
O setor industrial calçadista do Brasil possui uma cadeia produtiva autossuficiente, onde é possível encontrar grande eficiência em processos, produção interna de insumos, maquinários e alta capacidade para formação de pessoas competentes para atuar em todos os segmentos (SCHERER; GOMES; CRESPAM, 2009). Sua estrutura é composta por produtores de insumos, solados, adesivos, couros, têxteis, até matrizerias e equipamentos (SILVESTRIN; TRICHES, 2007).

#### ***4.3.4. Requisitos ergonômicos e de conforto no desenvolvimento de componentes de calçados***

O desenvolvimento de calçados precede uma série de requisitos quando se trata de ergonomia e conforto. Tanto a nível de conhecimento científico quanto a nível de conhecimento clínico, existem lacunas na definição de parâmetros adequados. Como resultado, o mercado calçadista apresenta baixa certeza de adequação, o que proporciona um consumo de calçados inadequados para a estrutura antropométrica dos consumidores (BRANTHWAITE; CHOCKALINGAM, 2019). As abordagens dispersas entre especialistas, por muito tempo comprometeram o desempenho e a qualificação de ajustes para viabilizar a previsão de desconfortos e dores com o uso do calçado (GOONETILLEKE; LUXIMON; TSUI, 2000; PAPAGIANNIS et al., 2016). Há grande dificuldade de se obter definições sólidas de conforto e ergonomia, devido às múltiplas origens dos possíveis agentes causadores de desconforto, e também por envolver métricas a partir de aspectos subjetivos (PAPAGIANNIS et al., 2016). Tais fatores são agravados pela falta de padronização antropométrica, base para o desenvolvimento das fôrmas que moldam um calçado. Muitos desconfortos são oriundos da rigidez e menor eficiência do material, contudo, a falta de adequação das medidas do calçado pode confundir a identificação da verdadeira origem do desconforto pelos usuários (BRODSKY et al., 2012; WITANA; FENG; GOONETILLEKE, 2004). Cerca de 50% da população consome calçados inadequados, o que possui relação direta com o desenho das formas utilizadas e materiais empregados (BRANTHWAITE; CHOCKALINGAM, 2019; SALA et al., 2013).

As partes que compõem um calçado apresentam funções específicas e exigem algumas características de conforto e resistência, pois apesar da estética envolvida pelo código de vestimenta social e pela grande influência da moda, a principal função de um calçado é a proteção dos pés (TYRRELL, 2016). As peças que constroem um calçado podem ser compostas por cabedal, forro, contra-forte e biqueira, palmilha, alma, entressola, sola e salto (Figura 14). Cada componente possui funcionalidade e características específicas, conforme especificado a seguir (FASHIONERY, 2015).

**Figura 14.** Partes que compõem um calçado



Fonte: (KOHAN et al., 2020)

#### 4.3.4.1. Cabedal

Ajuda o calçado a ficar preso no pé, ele é anexado à sola por meio de costura e/ou cola. Pode ser feito de couro, laminado sintético e têxteis.

#### 4.3.4.2. Forro

Reveste as costuras e acabamentos da parte interna do cabedal, mas também é responsável pela transpiração do pé e conforto interno. O mercado produtor de calçados utiliza couro, material sintético ou têxtil.

#### 4.3.4.3. Contraforte e biqueira

Fornecem suporte e ajudam a manter a fôrma do calçado. São feitos de material termoplástico ou tela de fibra com revestimento adesivo.

#### *4.3.4.4. Palmilhas*

A palmilha de montagem é aquela anexada ao final da margem do cabedal onde é envolvida em torno da fôrma durante o fechamento da montagem do calçado. Pode ser feita de couro ou painel de fibras. Além da palmilha de montagem existe a palmilha de acabamento, que é colocada após o calçado montado, sobrepondo a palmilha de montagem pela parte interna do calçado. Esta geralmente é feita com uma camada de EVA e/ou espuma, e outra de couro ou laminado sintético que sobrepõe a primeira.

#### *4.3.4.5. Alma*

Se trata de uma peça que fica junto à palmilha de montagem para proporcionar resistência na sua estrutura, principalmente quando o calçado possui salto. São feitos em madeira, filete de aço ou placas de fibras.

#### *4.3.4.6. Entressola*

Parte opcional que fornece amortecimento e absorção de choque. Geralmente são feitos em EVA.

#### *4.3.4.7. Sola*

Refere-se a última camada do calçado que fica em contato com o solo. Ela pode ter uma única camada ou ser composta de várias camadas, como vir com a entressola fixada. Os materiais variam entre couro, borracha, TPR, PU, PVC, TR, madeira, cortiça.

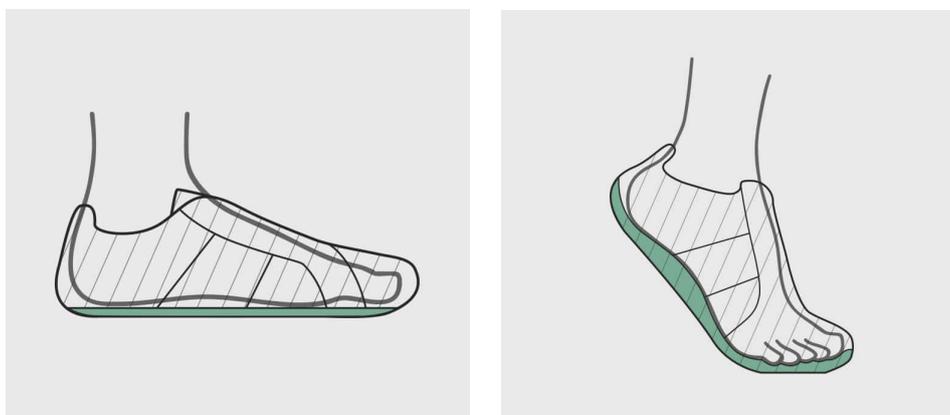
#### *4.3.4.8. Salto*

Promove suporte para a elevação do pé. Pode ser feito de madeira, metal, acrílico, cortiça e termoplásticos variados como ABS, TR, PU, PVC, PVC expandido, EVA.

Apesar da falta de padronização antropométrica e da variedade de fontes de desconforto, foram identificadas medidas úteis que podem nortear a compreensão de conforto e seus mecanismos (GOONETILLEKE; LUXIMON, 2001). Alguns parâmetros foram encontrados na literatura, como exemplo das medidas estabelecidas entre 1 e 4 cm como altura ideal para o salto do calçado, com a ressalva de que quando superior a 2,5 cm os usuários mais velhos podem estar propícios ao surgimento de calos e calosidades

(BRANTHWAITE; CHOCKALINGAM, 2019). Também foi identificado que 0,2 a 0,4 kN/m é o nível de tolerância da pressão dos pés dentro do calçado, com tolerância a dor aproximada de 20% (GOONETILLEKE; LUXIMON, 2001). É indicado uma distância de 1 cm entre os dedos do pé e a parede interna do calçado, afim de deixar espaço para o alongamento dos dedos durante a marcha (**Figura 15**) (HURST et al., 2017). Alguns estudos demonstraram melhor desempenho de conforto nas palmilhas quando possui diferentes espessuras em posições específicas, bem como foi constatado alteração das propriedades mecânicas quando aquecidas com o atrito do uso (BRODSKY et al., 2012; BÜYÜKTURAN et al., 2018). Em relação ao conforto térmico, as temperaturas ideais ficam entre 27° C e 33° C, pois a partir de 35° C – 38° C o desconforto começa a se apresentar (YICK; YU; LI, 2019).

**Figura 15.** Alongamento dos dedos durante a marcha dentro do calçado



Fonte: (GROUNDIES, [s.d.]

A complexidade do conforto em calçados se revela na experiência emocional e sensorial de seus usuários (GOONETILLEKE; LUXIMON, 2001; MUNDERMANN; STEFANYSHYN; NIGG, 2001). Portanto, está também na experiência do usuário as diretrizes norteadoras de conforto, imprescindíveis para o design do produto. O uso prolongado e repetitivo é uma mensuração de extremo valor (FRANCIOSA et al., 2013; GOONETILLEKE; LUXIMON, 2001). Alguns estudos apontaram a análise do conforto pela perspectiva sensorial, que envolve aspectos fisiológicos, psicológicos e físicos. Relacionam-se com fatores biomecânicos e estéticos que podem ou não proporcionar sensação de relaxamento e bem-estar (PAPAGIANNIS et al., 2016; SHACKEL; CHIDSEY; SHIPLEY, 1969)

A métrica de conforto no desenvolvimento de um calçado é feita a partir de normas, ditas pela ABNT (**Quadro 2**), entretanto são numerosos os problemas ergonômicos de inadequação devido a variedade de circunstâncias relacionadas (BOZANO; OLIVEIRA, 2011; KARWOWSKI; JAMALDIN, 1996). Destaca-se a importância do conforto psicológico, que assume as definições de conforto a partir de significados expressos em sentimentos de pertencimento que diz respeito as relações sociais (MUSSI, 1996).

### **Quadro 2.** Normas ABNT em conforto de calçados

<b>Relações de Normas Técnicas, títulos e objetivos</b>
<p>ABNT NBR 10455: 2006</p> <p>Título: CLIMATIZAÇÃO DE MATERIAIS USADOS NA FABRICAÇÃO DE CALÇADOS E CORRELATOS.</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece os requisitos para a climatização de amostras para testes de materiais usados na fabricação de calçados e correlatos.</p>
<p>ABNT NBR 14834: 2011</p> <p>Título: CONFORTO DO CALÇADO E COMPONENTES - REQUISITOS E ENSAIOS.</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece os métodos de ensaio e os requisitos para determinação do índice de conforto dos calçados e contribuição dos componentes para conforto em calçados, bem como define as características para a seleção de modelos de calce.</p>
<p>ABNT NBR14835: 2011</p> <p>CALÇADOS - DETERMINAÇÃO DA MASSA DO CALÇADO</p> <p>Objetivos: Esta Norma estabelece o método para determinação da massa do calçado.</p>
<p>ABNT NBR 14836: 2011</p> <p>CALÇADOS - DETERMINAÇÃO DINÂMICA DA DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO PLANTAR</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece o método para determinação dinâmica dos picos da pressão plantar na região do calcâneo e na região da cabeça dos metatarsos durante a marcha.</p>
<p>ABNT NBR 14837: 2011</p> <p>Título: CALÇADOS — DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DO CALÇADO</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece o método para determinação da temperatura interna do calçado em um ensaio de 30 min de marcha em esteira.</p>
<p>ABNT NBR 14838: 2011</p> <p>Título: CALÇADOS — DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE AMORTECIMENTO DO CALÇADO</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece o método para determinação do índice de amortecimento do calçado e chinelo durante a marcha.</p>
<p>ABNT NBR 14839: 2011</p> <p>Título: CALÇADOS – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PRONAÇÃO DO CALÇADO</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece o método para determinação do índice de pronação do calçado durante a marcha.</p>
<p>ABNT NBR 14840:2011</p> <p>Título: CALÇADOS – DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE PERCEPÇÃO DO CALCE</p> <p>Objetivo: Esta Norma estabelece o método para determinação dos níveis de percepção do calce e do nível de percepção do calce correspondente à avaliação das marcas e lesões em um ensaio com duração de 30 min. de marcha em esteira.</p>

**Fonte:** (SALA et al., 2013)

Posto isso, para que parâmetros de conforto contribuam no desenvolvimento de componentes de calçados, além das normas, é preciso considerar as sensações táteis, olfativas, visuais e auditivas, assim como função e estilo que também fazem parte das questões subjetivas (GOONETILLEKE; LUXIMON, 2001).

#### **4.4. Impactos da indústria calçadista e o desenvolvimento sustentável**

A indústria calçadista apresenta muitos avanços em seu processo de manufatura, inovações em seus maquinários e processo produtivo. Porém a ampla variedade de materiais utilizados em sua composição se mantém, gerando resíduos tóxicos, inflamáveis, patogênicos e corrosivos (ROBINSON, 2009).

No setor calçadista as ações voltadas para as práticas sustentáveis são claramente pertinentes em se tratar de um produto que possui considerável ação negativa decorrente do seu processo produtivo, principalmente por utilizar diversos químicos - como por exemplo o cromo presente no couro, o petróleo advindo dos laminados sintéticos e o chumbo de alguns tipos de solados. A composição híbrida do calçado em materiais de diferentes origens, ligados a colas e costuras, impede a reciclagem e o seu descarte final em aterros sanitários é causador de danos severos ao meio ambiente (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

O processo de descarte no final da vida útil do calçado sofre dificuldades, sobretudo, causadas pela grande variedade de componentes e pela quantidade de adesivos e costuras utilizados, resultando num montante de resíduos sólidos híbridos que acabam sendo destinados a aterros sanitários, causadores da contaminação do solo e dos corpos d'água. O nível de descarte de calçados gerados pós consumo está diretamente relacionado a cadeia acelerada da moda, onde o ciclo de vida é cada vez menor e a produção cada vez maior, aumentando consequentemente o consumo e o descarte (ASHTON, 2017; FRANCISCO; DIAS, 2015). Exposto isso, é possível perceber que o descarte no final da vida útil do calçado é um problema em amplo crescimento e de difícil resolução, o que reforça a urgência de reposicionamento das indústrias perante o problema. Vale destacar também que os grandes volumes de calçados de baixa qualidade são os geradores de resíduos de maior destaque (FRANCISCO, 2016).

O desenvolvimento de calçados que contemple função, estética e capacidade de reprodução em grande escala dentro das diretrizes da sustentabilidade é uma questão de grande complexidade (GUARIENTI, 2018). No ciclo de vida do calçado as etapas de produção de matéria-prima e de produto correspondem a 90% da geração de impactos ao

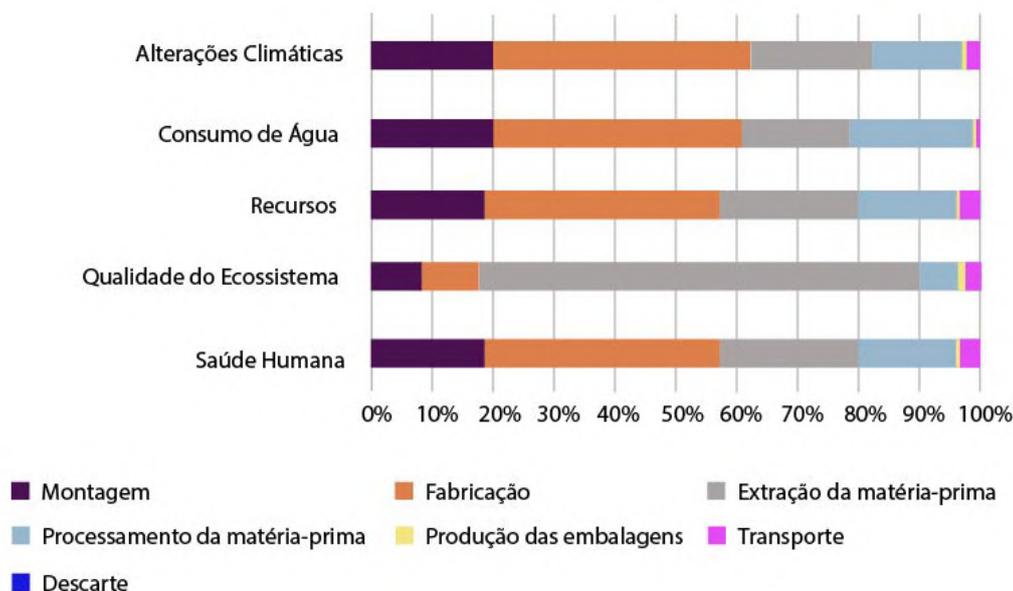
meio ambiente (MUTHU, 2013). Na **Tabela 5** é possível analisar de forma comparativa os impactos gerados entre três tipos de materiais empregados em calçados: couro, polímero sintético e têxtil (CHROBOT et al., 2018).

**Tabela 5.** Impactos dos calçados por tipo de material e categoria

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Calçado de couro (%)</b>	<b>Calçado de sintético (%)</b>	<b>Calçado têxtil (%)</b>
Alterações Climáticas	34	50	16
Saúde Humana	36	48	16
Qualidade do Ecossistema	82	12	6
Recursos	30	54	17
Consumo de água	31	48	21

**Fonte:** (CHROBOT et al., 2018)

No estudo dos impactos dos calçados realizado por Chrobot et al. (CHROBOT et al., 2018) foram avaliadas as categorias de alterações climáticas, saúde humana, qualidade do ecossistema, recursos e consumo de água. Indicativos revelaram que as fases de produção e extração da matéria-prima são os maiores responsáveis pelos impactos em todas as categorias, sendo que a extração da matéria-prima corresponde sozinha à 70% na categoria de qualidade do ecossistema, como pode ser visto na **Figura 16**. Os critérios utilizados na metrificação dos impactos passaram por cada etapa do ciclo de vida do calçado: extração e processamento da matéria-prima, produção, embalagem, transporte e descarte. O estudo considerou a produção global e seus valores em milhões de toneladas, determinando que um par de calçado equivale a 1kg. Vale destacar que os resíduos gerados no processo produtivo não foram considerados na categoria de manufatura. Nesta referência, observa-se que apesar de expor alguns detalhamentos, a metodologia não foi suficientemente adequada e o documento destaca que não se pretendia explicá-la especificamente.

**Figura 16.** Impactos da indústria calçadista por categoria

**Fonte:** (CHROBOT et al., 2018)

Os acentuados impactos causados pela indústria calçadista, com sua complexa mistura de componentes, fazem emergir a necessidade de comparação de desempenho ambiental entre os diversos materiais para calçados, fornecendo motivação suficiente para focar no fluxo de resíduos. Dentre os materiais empregados na produção de calçados os mais predominantes são têxteis, couro, sintéticos e borracha. Os resíduos têxteis correspondem a cerca de 7% dos resíduos domésticos, porém há dificuldades em mensurar a fração advinda de calçados (VAN RENSBURG; NKOMO; MKHIZE, 2020).

A geração significativa de resíduos no final da vida útil do calçado destaca a necessidade de explorar caminhos inovadores na gestão de resíduos, que superem a dificuldade de separação de materiais de forma eficiente e sustentável (PACHECO-BLANCO; COLLADO-RUIZ; CAPUZ-RIZO, 2015; VAN RENSBURG; NKOMO; MKHIZE, 2020). Tornar um calçado reciclável precede em sua composição o emprego de matérias de fácil aproveitamento e processo de separação viável, o que restringe as alternativas do fabricante (PACHECO-BLANCO; COLLADO-RUIZ; CAPUZ-RIZO, 2015). O setor tem apresentado evoluções em torno das questões ambientais, empregando materiais mais eficientes e eliminando materiais perigosos utilizados na produção (VAN RENSBURG; NKOMO; MKHIZE, 2020). Há um grande avanço no desenvolvimento de

materiais biodegradáveis pela necessidade de substituição dos materiais convencionais poluentes, como os de origem petroquímica (ZHANG et al., 2016).

O desenvolvimento de produtos sustentáveis caminha a passos largos em pesquisas, produtos e materiais. Pode-se observar o desejo crescente pela sustentabilidade através do Índice Higg, criado em 2011 pela SAC (Sustainable Apparel Coalition), nele as empresas podem avaliar seus impactos ambientais, produtos, instalações e processos (SUSTAINABLE APPAREL COALITION, [s.d.]).

O desenvolvimento de um calçado sustentável deve ser projetado desde as primeiras etapas do processo, ou seja, as diretrizes da sustentabilidade influenciam nas decisões desde a seleção dos materiais. Desenvolver produtos mais conscientes não requer grande sofisticação tecnologia, pois redesenhar os modelos convencionais é o ponto chave para a inovação. O produtor que compreende a sua responsabilidade ambiental tem uma percepção significativa do impacto de suas ações, que podem proporcionar grandes mudanças culturais. Sendo assim, empresas que se propõem a uma produção mais limpa podem revelar grandes melhorias no design e manufatura de calçados dentro do sistema convencional de mercado, ou ainda apresentar inovação repensando seus métodos e processos através do design estratégico do projeto (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Projetar calçados sustentáveis evidenciando a problemática de final de vida útil tem tomado direções cada vez mais relacionadas a biodegradabilidade de seus materiais, que sejam mais resistentes e dentro de uma estrutura de custo compatível com o mercado (ROBINSON, 2009). Está no desenvolvimento sustentável a principal solução para a crise ambiental onde é possível caminhar em direção ao reequilíbrio da natureza. A busca pela estabilidade do uso dos recursos naturais é uma condição essencial para a nossa sobrevivência (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

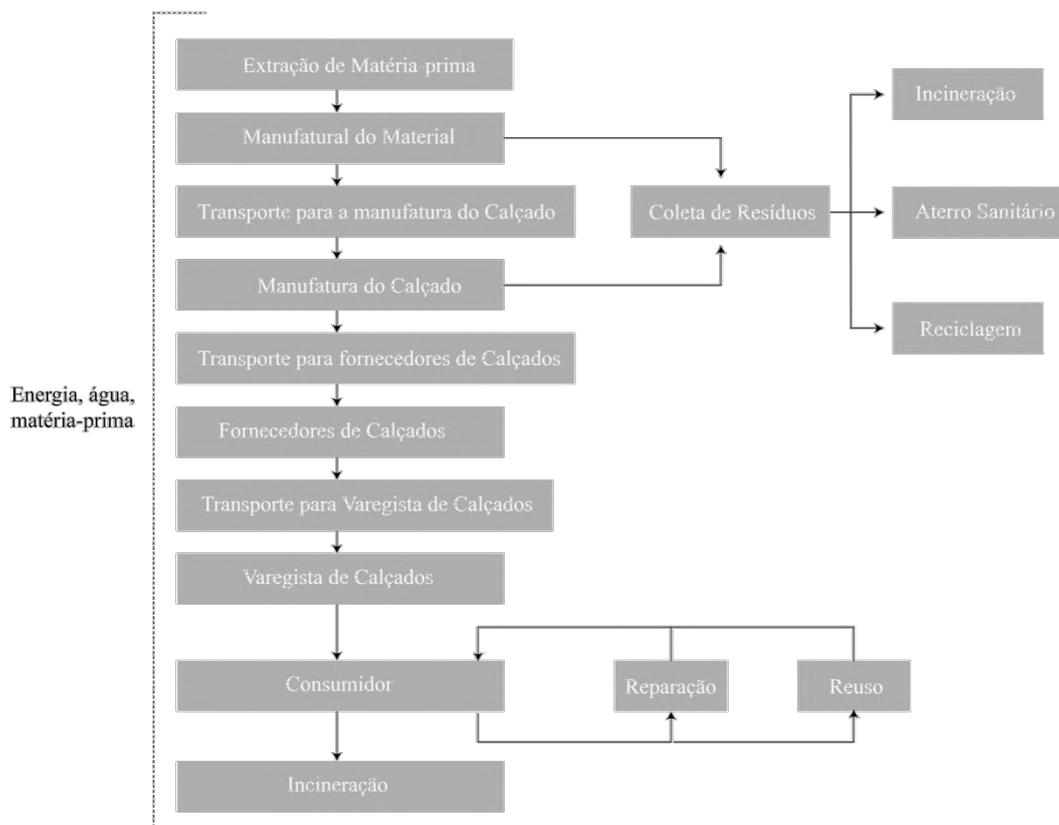
#### **4.5. Fechamento do ciclo de vida do calçado**

Promover impactos sustentáveis efetivos requer estratégias eco-eficientes norteadas por inovações tecnológicas e sociais, priorizando transparência e mensuração de impactos. Para alcançar a eco-eficiência, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como ferramenta essencial para diagnosticar aspectos críticos e identificar melhorias em todas as etapas de produtos e processos (TATÀNO et al., 2012).

O processo de ACV de um produto possibilita a investigação dos impactos que este possui. Trata-se de um processo que identifica e quantifica os efeitos gerados ao meio ambiente, tendo em vista o emprego de materiais, energia e geração de resíduos, com o

objetivo de identificar possíveis melhorias ambientais (MUTHU, 2013). O processo de AVC analisa cientificamente todo percurso do ciclo de vida. Se inicia desde a extração da matéria prima, passa pela fabricação e percorre até seu descarte final, o que implica em um inventário dos insumos, avaliação de cargas ambientais e impactos à saúde humana. Portanto, a ACV é uma ferramenta de tomada de decisão, que auxilia a partir da identificação da criticidade de insumos, processos e atividades (SONNEMANN et al., 2017).

A avaliação do ciclo de vida dos calçados envolve matéria-prima, fabricação, embalagem e expedição, uso, manutenção e descarte (GAZZOLA et al., 2020; TATÀNO et al., 2012). Analisar a aquisição da matéria-prima considera sua extração e processamento. O processo de manufatura envolve a transformação da matéria prima em produto, o que contempla fabricação do produto, embalagem e distribuição. Uso, reuso e manutenção fazem parte do consumo do produto, ou seja, o período de uso pelo consumidor. O final da vida útil é o estágio de possível reciclagem e/ou gerenciamento de resíduo (TATÀNO et al., 2012). Um exemplo da sequência do ciclo de vida do calçado na Suécia é representado na **Figura 17**, que aponta a incineração como destino final adequado baseado em suas políticas vigentes de tratamento de resíduos (GOTTFRIDSSON; ZHANG, 2015). O processo de incineração reduz o volume dos resíduos em mais de 90% e em peso cerca de 75% do seu estágio inicial. Essa decomposição térmica deve ser controlada para não causar impactos ambientais, em alguns países esse processo é utilizado para produção de energia (KLUGE, 2009). Deste modo, a etapa pós consumo abre uma série de possibilidades em contra partida ao descarte em aterros sanitários, como a reutilização; a partir do reparo para recuperação de funcionalidade do produto ou componentes, ou a reciclagem; por meio da reutilização dos materiais empregados para reprocessamento, compostagem ou incineração (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

**Figura 17.** Etapas do ciclo de vida do calçado na Suécia

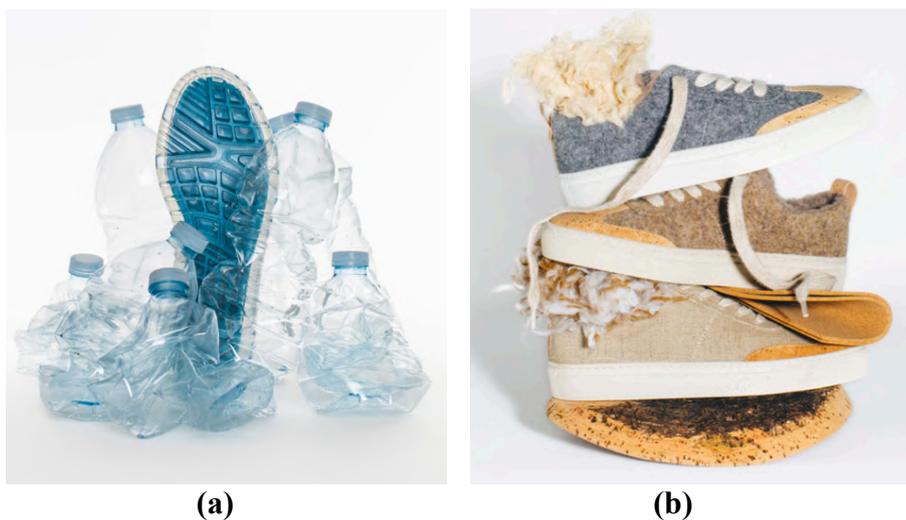
**Fonte:** (GOTTFRIDSSON; ZHANG, 2015)

A avaliação do ciclo de vida do calçado corresponde ao entendimento científico no campo de fabricação de materiais e componentes, produção do calçado, geração de resíduos e projeção de final de vida útil. Produtos químicos e materiais perigosos são comumente encontrados na fabricação de calçados, como o cromo empregado no couro, materiais sintéticos inviáveis para reciclagem, solventes e adesivos tóxicos. Estes apresentam uma série de implicações ao meio ambiente e à saúde humana (JACQUES; GUIMARÃES, 2012).

O final do ciclo de vida dos calçados é a questão chave para desencadear baixo impacto ambiental, todavia é o problema mais desafiador de ser enfrentado. Estudos neste setor são, ainda, escassos e segmentados (GUARIENTI, 2018). Para que um calçado seja reciclável (**Figura 18a**), é preciso que sua composição seja de materiais facilmente reaproveitados. Quando este não é feito de monomateriais, a necessidade de desmontagem das partes para possibilitar o descarte correto de cada categoria de matéria-prima requer muita mão de obra, o que eleva os custos e a inviabilização de reciclagem.

Seria necessário projetar um calçado de fácil desmontagem sem risco de rompimento quando em uso. Além disso, alguns materiais recicláveis permanecem com seu problema de origem, onde nem sempre contribuem com a diminuição do impacto ambiental (ROBINSON, 2009). O desenvolvimento de calçados com materiais biodegradáveis (**Figura 18b**) se destaca como alternativa para enfrentar os problemas em torno da sustentabilidade do setor calçadista. Posto isto, é preciso substituir os materiais tradicionais, em geral derivados do petróleo e/ou que façam uso de metais pesados, por materiais de menor impacto ambiental com especial atenção aos de fonte renovável (ROBINSON, 2009). A utilização de materiais de fonte renovável, que se decompõem ao final do tempo de vida útil do calçado, reduz consideravelmente o impacto ambiental. Desta forma não é necessário que existam estruturas, como cooperativas de reciclagem para a separação inviável dos diversos materiais hoje existentes na composição de um calçado. Os restos dos calçados podem ser colocados juntamente com restos de matéria orgânica, para decomposição ou compostagem, sem que estes materiais produzam o menor efeito poluente sobre solos, águas superficiais ou águas subterrâneas (NAIME, 2011).

**Figura 18. (a)** Calçado de material reciclado **(b)** Calçados de materiais biodegradáveis



Fonte: (APICCAPS, 2021b)

#### 4.6. Materiais biodegradáveis

A criação de produtos que se utilizem de matérias biodegradáveis possui uma série de fatores importantes. É imprescindível que toda sua composição e componentes sejam

degradáveis no meio ambiente de forma completa e segura. Informações claras e precisas sobre os materiais e seus métodos de biodegradabilidade se tornam igualmente importante neste necessário, assim como a clareza da diferença entre tais produtos e os de materiais sintéticos não degradáveis (FLETCHER, K.; GRASE, 2011). Materiais como couro, borracha natural, biopolímeros e termoplástico biodegradável são empregados em calçados como forma de reduzir a quantidade de resíduos em toda cadeia da indústria calçadista e principalmente no fim da sua vida útil (STAIKOS et al., 2006). A diversidade de materiais biodegradáveis compreende têxteis, laminados, polímeros e bio aditivos.

Compósitos biodegradáveis são utilizados desde a antiguidade, como na construção civil e em ferramentas de diversas funcionalidades. Foi a partir dos anos 90 que os polímeros naturais e lignocelulósicos voltaram a ganhar atenção e desde então (SATYANARAYANA; ARIZAGA; WYPYCH, 2009). Um material é considerado biodegradável se sofrer degradação por atividade biológica sob condições ambientais específicas em uma extensão definida e dentro de um determinado período de tempo (STAIKOS et al., 2006). Segundo o Manual de Testes para Avaliação da Ecotoxicidade de Agentes Químicos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o Ibama, a biodegradação é a propriedade de uma substância orgânica ser metabolizada, ou seja, ser consumida por microrganismos presentes no meio ambiente, levando à formação de dióxido de carbono, água e biomassa, assim descreve o IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS E TECNOLOGIAS, 2014).

Existem dois métodos estabelecidos para o gerenciamento de materiais biodegradáveis no final da vida útil: tratamento biológico e métodos convencionais. O tratamento biológico inclui digestão aeróbica (compostagem) e anaeróbica (biodigestão), já os tratamentos convencionais utilizam incineração, combustão de estruturas compósitas e envio para aterros que produzem metano, um poderoso gás de efeito estufa. De fato, quando enviados para aterros, os materiais biodegradáveis perdem seu benefício ambiental (STAIKOS et al., 2006). Para ser considerado biodegradável, um material ou produto deve atender a algumas normas internacionais, como as estadunidenses ASTM 6400, 6868, 6866, a europeia EN 13432, ou a brasileira ABNT NBr 15448 de biodegradação e compostagem (ECYCLE, 2020).

O gerenciamento de resíduos frente a conscientização ambiental possibilitou aos polímeros biodegradáveis uma maior atenção, assim como às matrizes de biocompósitos reforçados com fibras naturais (SIMÕES; VIANA; CUNHA, 2009). A seleção de fibras e materiais sob critérios de sustentabilidade atrelados a adequação de conforto leva a

condições de maior segurança e minimização do consumo, visto que o quesito conforto influencia a compra e o uso prolongado do calçado em seu ciclo de vida útil. (HERVA; ÁLVAREZ; ROCA, 2011).

#### **4.6.1. O couro e a sustentabilidade**

Um dos subprodutos gerados e descartados pela agroindústria produtora de carnes é a pele animal. Quando beneficiada pode se transformar em uma matéria prima de alto valor agregado, o couro. A pele deixa de ser resíduo e se transforma numa fonte geradora de renda. O processo de transição da pele para couro precisa receber um tratamento chamado curtimento, onde o resíduo da indústria alimentícia é tratado com substâncias curtentes para se manter imune ao processo de decomposição (MALUF; HILBIG, 2010; SANTOS, 2012). O processo de transformação da pele animal em couro, além de impedir seu apodrecimento, proporciona maciez e flexibilidade ao material, podendo ser destinado a diversos setores, como a indústria têxtil, automobilística, moveleira e coureiro calçadista. As peles utilizadas na manufatura do couro podem ter origem de diversos animais, porém o couro bovino é o mais encontrado devido ao tamanho da indústria alimentícia vinda deste animal (MENDA, 2012).

O Brasil é o segundo maior criador de gado do mundo, ficando atrás apenas da Índia. Como boa parte do rebanho indiano não é destinado ao abate, o Brasil se posiciona em primeiro lugar como o maior criador de rebanho bovino inteiramente comercial do mundo. Assim como a indústria da carne, a produção de couro no Brasil também se destaca no mercado internacional, pois está entre os maiores exportadores de couro do mundo (CICB, 2007).

Os principais compradores do couro brasileiro são China e Hong Kong, destino de 25% da exportação em valor FOB, na sequência vem Estados Unidos 17,1% e Itália 16,9% conforme dados de faturamento de 2019. As principais regiões exportadoras do couro brasileiro são Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná e Goiás (CICB, 2020). Cerca de 77,6% do couro produzido no Brasil é exportado, sendo que 40% deste é destinado para as indústrias calçadista, de artefatos e vestuário. No mercado doméstico a indústria de calçados absorve cerca de 30% do consumo interno, onde a maior parte é absorvida pela indústria automobilista e de estofados (CICB, 2007).

A indústria brasileira de couro é predominada por curtumes de pequeno e médio porte, além de pequenos curtidores artesanais que não possuem registros formais, o que implica na imprecisão dos dados estatísticos. Em 2009 foram contabilizados 702

curtumes pulverizados em todo o país. No entanto, a pequena parcela de curtumes de grande porte toma uma grande proporção por terem algum vínculo direto com os frigoríficos. Esta detém cerca de 60% da produção do couro no Brasil, o que lhes transfere grande peso na indústria coureira (ABDI, 2011).

Além do couro bovino, que é majoritário na indústria coureira, destacam-se no mercado brasileiro os couros de peixe, como pirarucu e tilápia, e o couro caprino. O uso do couro de peixe no setor calçadista tem se destacado principalmente pelo seu viés ecológico. A indústria pesqueira brasileira produz em média 800.000 toneladas de pescados por ano onde 8% a 12% disso representa a pele, que em sua maioria é descartada por ser considerada lixo (SEBRAE, 2014). A transformação do resíduo da indústria pesqueira em couro é uma alternativa sustentável para o aproveitamento do subproduto gerado pelo cultivo de peixes, além de ser uma prática geradora de renda que contribui para o desenvolvimento socioeconômico de comunidades pesqueiras brasileiras (KANARSKI, 2018). Considerado como couro exótico e inovador, o couro de peixe é muito bem recebido pelo setor coureiro calçadista, principalmente no mercado de luxo. O couro do peixe pirarucu é o mais exaltado pela sua exuberância e resistência (CICB, 2017).

A indústria coureira de caprinos é um nicho de elevada importância e muito característico da região do nordeste do Brasil. Sua concentração é situada nos estados nordestinos, onde abrigam 93% da criação de caprinos do país, que se dá pelas condições climáticas da região que favorecem a criação do animal (**Figura 19a**) (REY et al., 2007). Sua grande importância social e econômica vai além dos animais serem fonte de alimento para as famílias que vivem no semiárido. Seus benefícios são destacados pela baixa taxa de colesterol da carne, pelo alto valor biológico e nutricional do leite e derivados, além do emprego de tecnologia de baixo custo e pouco investimento (NORDESTE RURAL, 2017). A Embrapa Caprinos e Ovinos adaptou a tecnologia de Sistema de Produção Agrossilvipastoril em sua unidade, e aponta como uma alternativa apropriada para gerar crescimento econômico e benefícios sociais às comunidades tradicionais para criação de caprinos (CAMPANHA; HOLANDA JÚNIOR, 2007; EMBRAPA, [s.d.]).

Tradicionalmente existe a cultura do curtimento vegetal com angico e outros taninos regionais (**Figura 19b**), feitos em tanques e ribeiras caseiros para posteriormente o couro ser utilizado em calçados e artefatos típicos da cultura nordestina (REY et al., 2007). O cultivo de caprino no Brasil é bastante promissor para o seguimento coureiro, porém é preciso investir na melhoria da qualidade da pele, o que envolve um manejo

adequado do animal e o aprimoramento dos processos de curtimento atualmente empregados (XIMENES; CUNHA, 2012).

**Figura 19. (a)** Criação de caprinos no bioma caatinga do nordeste **(b)** Couros de caprino curtido em tanino



**Fonte:** (NORDESTE RURAL, 2017; LIRA, 2019)

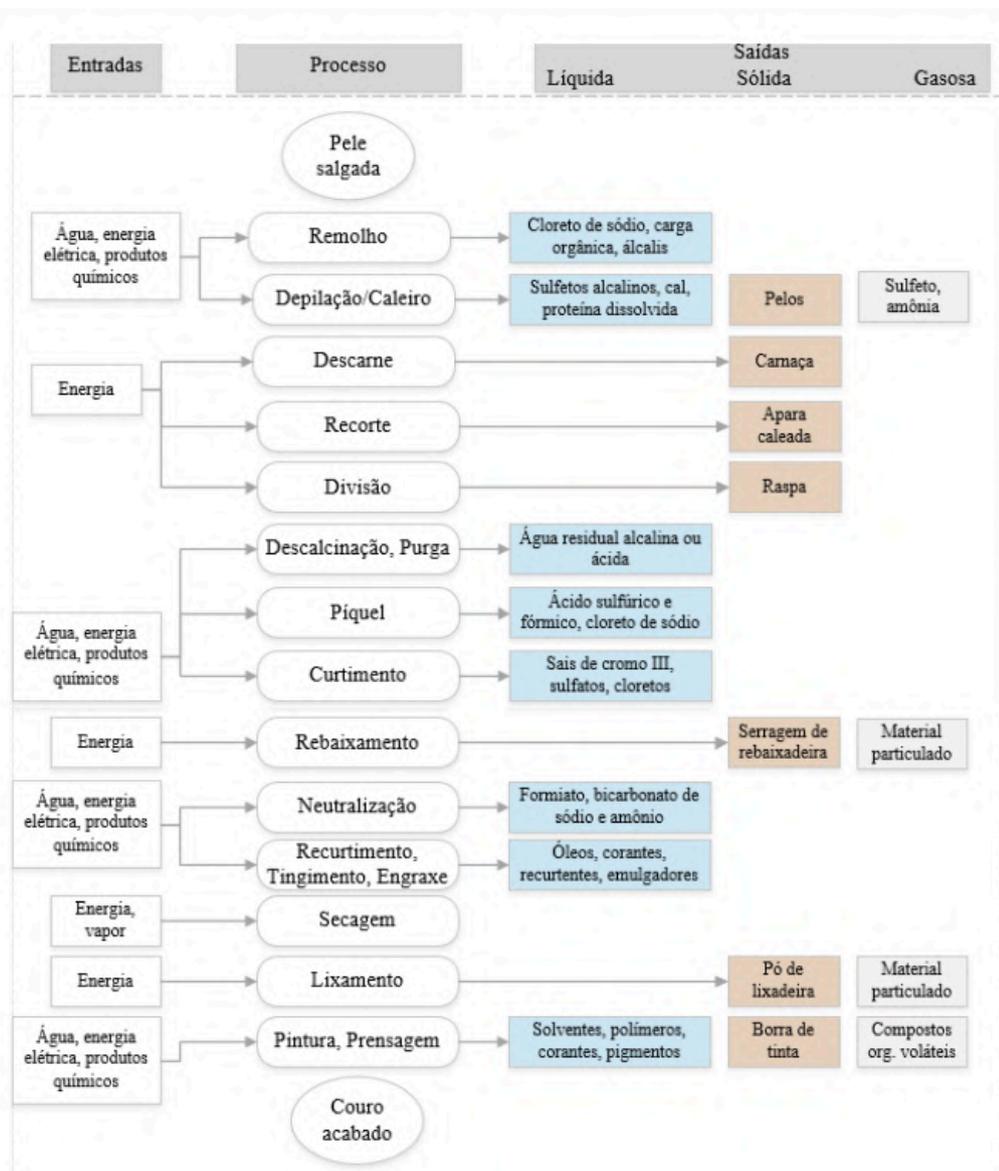
Dentro da história cultural da produção de couro no Nordeste encontra-se o “vaqueiro”, um personagem que desbravava o sertão cuidando da criação de gado e vestindo peças de couro dos pés à cabeça, todas feitas por artesãos. A tradição da indumentária de couro influenciou a cultura regional e hoje algumas peças ainda continuam em uso. O couro faz parte da identidade do artesanato nordestino que representa uma grande fonte de renda na região. Cerca de 64,3% das cidades no Brasil possuem produção de artesanatos em que as técnicas artesanais são hereditárias (ZUIM et al., 2014). É interessante destacar o festival do couro que acontece no município de Cabaceiras, na Paraíba. O evento, chamado ExpoCouroBode (**Figura 19b**), se propõe a enaltecer a caprinocultura e expor o trabalho de artesãos que utilizam o couro caprino como matéria-prima, o principal meio de subsistência e economia da cidade (ASSESSORIA - PREFEITURA MUNICIPAL DE CABACEIRAS, 2019). Dentre as diversas regiões do nordeste que possuem a tradição do curtimento vegetal, o município de Cabaceiras representa uma grande produção de couro caprino e calçados artesanais. Um documentário feito pelo JPB (Jornal da Paraíba) e divulgado pelo site G1 em 2017 mostrou que nos últimos 10 anos a cooperativa Arteza tem contribuído com melhorias no processo de curtimento vegetal artesanal, ampliando a produção do couro que é destinado à 26 oficinas produtoras de calçados do próprio município. Juntas produzem 12 mil pares

de calçados por mês e a cooperativa movimentava mais de 1 milhão de reais por mês em uma comunidade que possui cerca de 600 habitantes (G1, 2017).

As indústrias de couro poderiam ser consideradas recicladoras, pois sua matéria prima é resíduo da indústria da carne, porém o seu processo de curtimento com metais pesados implica em diversos tipos de contaminação ambiental (RIBA; MIRÓ, 2007). Entre os curtidores de todo o mundo, em média 80% deles utilizam sais de cromo para curtir as peles, já a uso de extratos vegetais fica entre 10 à 15%. Os demais utilizam oxazolidina, glutaraldeído, entre outros (PAIVA; MORISSO, 2009).

É possível compreender as etapas de beneficiamento do couro a partir da **Figura 20**, bem como os resíduos líquidos, sólidos e gasosos gerados. A etapa de recebimento dos sais de cromo se dá no processo de curtimento, portanto os resíduos gerados a partir de então possuem metais pesados, o que implica no tratamento dos resíduos gerados bem como no final de vida do produto em que o couro for empregado.

**Figura 20.** Fluxograma do processo de beneficiamento do couro curtido ao cromo



Fonte: (FEAM, 2018)

O processo de curtimento feito com tanino se trata da utilização de compostos orgânicos que possuem uma substância curtente em suas propriedades, o tanino, geralmente encontrado em cascas de árvores, folhas, madeira e galhos de plantas. Esse método de retardamento da deterioração e conservação da pele de couro foi desenvolvido na região Mediterrânea, que durante séculos foi o processo dominante na transformação de peles em couro. Sua substituição ocorreu gradualmente pelo curtimento com minerais de cromo durante o século XIX (FALCÃO; ARAÚJO, 2011). O processo de curtimento vegetal (**Figura 21**) é preparado com o pó da casca de algumas espécies de árvore, que atua no fechamento dos poros do couro e aumenta a sua resistência, o deixando menos

esponjoso e mais maleável. O tipo de couro resultante desse processo é conhecido como “atanado”, este é tipicamente utilizado em solas para a fabricação de calçados, sendo que para este fim o couro é preparado para ter mais rigidez (MOURA, 2014). No Nordeste, a forte tradição na produção de couro curtido em tanino acontece principalmente na região do sertão. Em Pernambuco houve um período em que a casca do mangue era muito utilizada para o curtimento de peles, porém houve uma proibição devido a exploração devastadora que afetou o bioma dos manguezais. De origem nordestina também podem ser utilizadas as cascas de cajueiro, jurema e angico, além da açoita-cavalo; espécie que vegeta às margens do rio São Francisco e outras regiões do sertão (MOURA, 2014).

**Figura 21.** (a) Processo de curtimento com tanino (b) Lavagem e adição de óleos (c) Secagem



**Fonte:** (ARTEZA, [s.d.])

Melhorias ambientais voltadas para o processo de curtimento estão avançando atualmente devido a diversos fatores como: exigências legislativas; responsabilidade ambiental e social corporativa; disponibilidade tecnológica; e demanda advinda dos consumidores. O couro curtido em tanino vem sendo utilizado por empresas de calçados e vestuários como alternativa sustentável no desenvolvimento de produtos mais ecológicos e utilizando termos como “bio-”, “orgânico”, “sem metais pesados”, “biodegradável”, “sem metal” e “natural” em suas campanhas de marketing (LAURENTI et al., 2016).

Preocupações ambientais estão forçando os curtumes a buscarem meios mais sustentáveis na produção de couro e o sistema de curtimento vegetal vem sendo abordado como um possível substituto ao processo com cromo, promovendo um ressurgimento de interesse de mercado em couros com curtimento vegetal. As vantagens do couro resultante deste processo vegetal são a sua compatibilidade com a pele humana, conforto e alta estabilidade dimensional, além de tratamento viável e reaproveitamento dos

resíduos gerados no processo. Porém uma questão a ser tratada é salinidade que gera sérias preocupações (SUNDAR; MURALIDHARAN, 2017).

#### ***4.6.2. Desenvolvimento de biocompósitos***

Anualmente são gerados 400 milhões de toneladas de resíduos plásticos, destes 150 milhões de toneladas vão parar nos oceanos. A expectativa é de um aumento anual de 3,2% no consumo de plásticos para os próximos anos. Cientistas estimam que até 2050 serão 12 milhões de toneladas de resíduos plásticos em aterros sanitários em todo o mundo. Sua taxa de decomposição é extremamente lenta devido aos componentes químicos, que são nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. Apesar da degradação lenta, a liberação de compostos orgânicos voláteis (VOC's) acontece já nas primeiras semanas do processo de degradação dos plásticos, que continua sendo emitido enquanto estiverem expostos à luz solar e ao calor. Sua degradação também gera os microplásticos, que são ingeridos pelos organismos marinhos contaminando sua cadeia alimentar, além de emitirem gases de efeito estufa que causam danos climáticos e alteraram negativamente a estrutura do solo e sua capacidade (SHANMUGAM et al., 2021).

A necessidade de resolução de problemas, principalmente das necessidades futuras norteadas pelas questões ecológicas, é o que mais tem impulsionado as inovações em materiais (CALEGARI; OLIVEIRA; LENZ, 2014). O emprego de recursos de base biológica renovável para o desenvolvimento de novos materiais compatíveis ao meio ambiente é a contrapartida dos materiais sintéticos, porém seu uso contínuo e em grande escala não é uma solução sustentável. Para isso é preciso considerar todo o seu sistema produtivo, pela perspectiva da economia circular (SHANMUGAM et al., 2021).

Os compósitos biodegradáveis são utilizados desde a antiguidade, como na construção civil e em ferramentas de diversas funcionalidades, como o papel. Boa parte do uso de materiais lignocelulósicos foi substituído no século XX, com o surgimento de uma ampla gama de polímeros sintéticos com baixo custo feitos a partir do petróleo. Foi a partir dos anos 90 que os polímeros naturais e lignocelulósicos voltaram a ganhar atenção e desde então uma diversidade de experimentos vêm sendo aplicados por cientistas e pesquisadores para substituir os sintéticos. Os motivos vêm da fonte petrolífera finita, do aumento da conscientização ecológica e da disposição de dados morfológicos, principalmente das fibras lignocelulósicas, aprimorados com o avanço da tecnologia dos equipamentos (SATYANARAYANA; ARIZAGA; WYPYCH, 2009). As vantagens da utilização de biocompósitos vão desde sua base biológica de fonte

renovável, compatível com a natureza e os seres humanos, à principalmente sua potencialidade de gerenciamento no fim da vida útil (**Figura 22**). A maioria dos biocompósitos são recicláveis e reutilizáveis (SHANMUGAM et al., 2021).

**Figura 22.** Processo de reciclagem de biocompósitos



**Fonte:** (SHANMUGAM et al., 2021)

Os biopolímeros, que são polímeros biológicos ou biologicamente derivados, são materiais de fonte sem petróleo para a indústria e têm um impacto positivo significativo ao reduzir a dependência de combustíveis fósseis, bem como a pegada de carbono, podendo até oferecer benefícios de custo e durabilidade em comparação aos materiais sintéticos. Biopolímeros são diferentes dos polímeros biodegradáveis e verdes. Polímeros biodegradáveis são aqueles que se decompõem em fragmentos menores devido a ação de bactérias e outros microrganismos. Os polímeros verdes, por outro lado, são aqueles produzidos a partir de química verde (ou sustentável), um termo que apareceu na década de 1990. Biopolímeros são provenientes de recursos naturais vegetais, animais e de microrganismos como fungos e leveduras. Como exemplo das biofibras feitas a partir de fibras regeneradas de proteínas. Já os biopolímeros sintetizados são compostos de monômeros de origem biológica: ácido polilático (PLA), Poly PTT e Poli-hidroxicanoatos (PHA) – que são sintetizados por bactérias (THANGAVELU; SUBRAMANI, 2016).

Materiais Lignocelulósicos são de fonte renovável e sua estrutura vegetal se dá basicamente a partir de três compostos: celulose, hemicelulose e lignina. A extração de tais materiais a partir do reaproveitamento de resíduos gerados de outros processos produtivos apresenta grandes benefícios, além de sua capacidade de degradação que causam impactos positivos ao meio ambiente. As fontes mais abundantes de materiais lignocelulósicos partem da agricultura (CORRÊA, 2017). A disponibilidade de recursos renováveis vegetais em abundância permitiu a sua utilização como materiais de matriz e reforço, o que levou o seu desenvolvimento e uso como materiais poliméricos biodegradáveis. No Brasil, os principais recursos vegetais são amidos (mandioca, milho, batata, trigo, soja, arroz, etc.), resina de caju, látex, bagaço de cana de açúcar, fibra de banana, fibra de coco, fibra de curauá, fibra de abacaxi, cortiça, juta, bambu, bucha vegetal e outros. Toda essa diversidade de materiais apresenta uma grande variedade de aplicações por apresentarem propriedades únicas, capacidade de produção em grande escala e custo acessível, além de sua contribuição em renovação de ciclo ecológico e biodegradabilidade (SATYANARAYANA, 2010).

Os polímeros biodegradáveis são classificados a depender das propriedades de matriz, reforço e método de processamento utilizado. Se tratando da utilização de materiais lignocelulósicos, a sua mistura apropriada juntamente com escolha da matriz biopolimérica exibe algumas atrações menos abrasivas. Além disso, a semelhança química entre os materiais lignocelulósicos com a matriz pode ser utilizada para alcançar aspectos específicos, como ter maior adesão e redução de sensibilidade à umidade do compósito biodegradável. Para desenvolvimento e aplicação de polímeros biodegradáveis é importante aliar as características de densidade, temperaturas, absorção de água, tempo de degradação e propriedades mecânicas (FECHINE, 2013; FORNARI JUNIOR, 2017).

Existem dois tipos de fonte de materiais para o desenvolvimento de biocompósitos; materiais primários e secundários. Os materiais primários são virgens, já os secundários são subprodutos de outros processos industriais (SHANMUGAM et al., 2021). A sustentabilidade e potencial de escalabilidade devem ser considerados no início do desenvolvimento de novos materiais, assim como as demandas de água e energia. Os subprodutos das fibras naturais são muito promissores para o desenvolvimento de biocompósitos, visto que globalmente 53 milhões de toneladas de fibras são consumidas anualmente (RIBUL et al., 2021). Só no Brasil, são geradas 175 mil toneladas de resíduos têxteis provenientes do processo produtivo de confecções (ZONATTI, 2016).

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Tipo da pesquisa

Com relação à abordagem este estudo tem caráter qualitativo com sentido propositivo ao final. Tem a premissa de apresentar novos caminhos que podem ser identificados e aprimorados, a partir de pesquisa sistemática da literatura e experimental, para evidenciar o uso de materiais biodegradáveis como fonte para a prática do design circular no setor calçadista, aliando componentes avaliativos que resultem em critérios que auxiliem as tomadas de decisão no processo de desenvolvimento de produtos para a economia circular, considerando as necessidades do mercado e os impactos de fim da vida útil do calçado. Com relação à natureza trata-se de uma pesquisa aplicada. Com relação aos objetivos tem o caráter híbrido, exploratório-descritivo-explicativo. Quanto aos procedimentos trata-se também de caráter híbrido, é uma pesquisa bibliográfica, experimental e de campo (GIL, 2008).

### 5.2. Revisão Sistemática da Literatura

#### 5.2.1. *Materiais biodegradáveis para aplicação em calçados*

A elaboração de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) contribui para a seleção, análise e avaliação de um determinado campo de conhecimento, a fim de dar luz a uma questão específica (DENYER; TRANFIELD, 2009). Este estudo teve como base os bancos de dados eletrônicos Scopus e Web of Science, por serem considerados os principais repositórios de produção científica. A RSL foi realizada com base nas quatro principais etapas propostas por Maestrini et al. (2017): identificação de fontes; seleção de fontes; avaliação de fontes e análise de dados.

A identificação dos estudos que apontam materiais biodegradáveis para o setor calçadista foi feita, em outubro de 2022, a partir dos termos de pesquisa “biodegradable” AND “shoe” OR “biodegradable” AND “footwear” identificados em títulos de artigo, resumos e palavras-chave. A seleção das palavras-chave permitiu um conjunto inicial de 69 artigos no Web of Science e 50 artigos no Scopus, totalizando 119 artigos. Tendo como partida um volume baixo de artigos foi adicionada a pesquisa, em novembro de 2022, uma nova busca com as palavras “biocomposite” AND “shoe” OR “biocomposite” AND “footwear”, que adicionaram mais 22 artigos, totalizando 141 artigos retidos.

A etapa de seleção dos artigos foi iniciada pela verificação cruzada, de forma manual

a partir do compilado dos artigos em formato de planilha. A eliminação das duplicidades reduziu a seleção para 113 artigos. Posteriormente os conteúdos foram analisados e os artigos cujo os temas não eram relevantes para a pesquisa foram excluídos; como artigos que tratavam de biocompósitos para aplicação médica (LIZUNDIA et al., 2017; TAKAYAMA et al., 2021) e outros que não mencionaram alguma relação direta com a indústria calçadista, embora algumas dessas pesquisas tenham sido realizadas por institutos de pesquisa de couro e calçados.

### 5.3. Visitas técnicas e entrevistas semiestruturadas

#### 5.3.1. Visita técnica em curtume de caprino em Belo Jardim-PE

Devido à fácil adaptação ao clima Semiárido da região do Nordeste, a pecuária de caprinos se torna excelente no bioma caatinga, que é exclusivamente brasileiro. É por isso que a região detém 91% da criação de caprinos do Brasil, que corresponde a 8,1 milhões de animais. Bahia e Pernambuco possuem a maior quantidade, cerca de 2,3 e 2,0 milhões da espécie respectivamente. O rendimento da criação de caprinos se destaca pela carne, leite e derivados, vísceras e pele (LEAL; ROCHA; DA ROCHA JUNIOR, 2016).

A cidade de Belo Jardim está localizada na região do agreste do estado de Pernambuco, com aproximadamente 77 mil habitantes (IBGE, 2021). É uma das diversas cidades que possui criação de caprinos e exploração dos seus derivados. A feira de ovinos e caprinos, por exemplo, acontece semanalmente e é onde são comercializados os animais vivos para procriação, cultivo de leite e derivados ou mesmo para o abate e consumo da carne (**Figura 23**) (REI DO AMENDOIM, 2021).

**Figura 23.** Feira de Bode em Belo Jardim-PE



Fonte: (REI DO AMENDOIM, 2021)

Na cidade foi possível ter acesso a um curtume caseiro das peles de caprino. Sendo assim, uma visita exploratória foi realizada para observar como é feito o processo de transformação da pele em couro em pequena escala. A visita foi realizada em janeiro de 2020, porém um novo contato com o proprietário foi feito por telefone em janeiro de 2023 para uma entrevista semiestruturada.

### 5.3.2. Visita técnica em feira de couros em Cachoeirinha-PE

A cidade de Cachoeirinha, com um pouco mais de 20.000 habitantes, está localizada na bacia leiteira de Pernambuco (Figura 24). É conhecida como a terra dos queijos, contudo, vale destacar que a pecuária de corte também é uma atividade econômica da região, por isso também é conhecida pela produção de “carne de sol”.

**Figura 24.** Bacia leiteira de Pernambuco com destaque para Cachoeirinha e Belo Jardim



Fonte: Adaptado de (BEZERRA; NASCIMENTO JÚNIOR, 2015)

A cidade também possui forte atividade produtora de artigos de montaria para cavalos, feitos em couro e aço (BEZERRA; NASCIMENTO JÚNIOR, 2015; CACHOEIRINHAPREV, [s.d.]). O local é conhecido nacionalmente como especialista em produção de arreios, esporas e estribos em aço e selas de montaria em couro, feitos artesanalmente. Existe uma grande feira que acontecem semanalmente, a feira do couro e aço (Figura 25). Nela são comercializados utensílios de contaria com muitos acessórios em couro (REI DO AMENDOIM, 2020).

**Figura 25.** Selas de montaria na feira de Couro e Aço em Cachoeirinha -PE



**Fonte:** (REI DO AMENDOIM, 2020)

A feira é voltada tanto para o comércio das peças prontas quanto para matérias-primas para desenvolvimento das mesmas, e o couro caprino curtido em tanino é fortemente comercializado.

Posto isso, uma visita técnica foi realizada a feira de couro e aço para investigar a origem e destino do couro caprino curtido em tanino. Uma entrevista semiestruturada foi agregada à visita, afim de coletar informações específicas entre os feirantes que comercializam esse material.

### ***5.3.3. Visita técnica em fábricas de calçados em São Paulo-SP***

A utilização de novos materiais em calçados envolve requisitos ergonômicos, de conforto e que contemple as necessidades dos consumidores. Para além destes requisitos, o material deve percorrer adequadamente durante o processo produtivo, o que envolve o uso de diversos recursos até chegar no produto final. Quando se trata de escala industrial, a utilização de maquinários é amplamente utilizada. Para melhor compreender este percurso, uma visita técnica foi feita em empresas produtoras de calçados na cidade de São Paulo-SP. Destaca-se que houve amostragem por conveniência pela facilidade de acesso. O objetivo foi identificar quais maquinários são empregados no processo produtivo, para compreender quais ações o material sofre para chegar no produto final. Entende-se que tais análises processuais agregam informações pertinentes para delimitar as possibilidades dos materiais biodegradáveis.

**Figura 26.** Vista ampla da fábrica II durante a visita



**Fonte:** Autora Própria

As visitas foram realizadas em três fábricas localizadas na região metropolitana de São Paulo-SP entre os dias 15 e 23 de dezembro de 2022. A fábrica I e a fábrica II (**Figura 26**) possuem capacidade produtiva equivalentes, com emprego de vários maquinários, já a fábrica III possui produção com foco mais artesanal. Portanto, a investigação ficou concentrada nas fábricas I e II.

#### **5.3.4. *Visita técnica em indústria de confecção de jeans em Toritama-PE***

Foi realizada uma visita técnica em uma fábrica de jeans localizada na cidade de Toritama (Pernambuco, Brasil) a fim de averiguar a geração de resíduos industriais de algodão e sua logística, para assim dar luz a uma nova perspectiva de destinação dos resíduos, como biocompósitos. Esta empresa caracteriza-se como: pequena empresa (representante da maioria das fábricas do mercado brasileiro de jeans); localizada em polo industrial (onde existe uma rede fabril desenvolvida); tem 98 funcionários; e produz 7 mil peças de jeans por mês. Sua geração de resíduos de jeans é de cerca de 800 quilos por mês. Além disso, foram realizadas entrevistas com o proprietário e o gerente de produção no dia da visita (22 de janeiro de 2021).

**Figura 27. (a)** Estoque de tecidos jeans; **(b)** Vista da área de produção da fábrica



Fonte: Autora Própria

## 5.4. Materiais e métodos experimentais

### 5.4.1. Protótipos de aplicação de materiais biodegradáveis

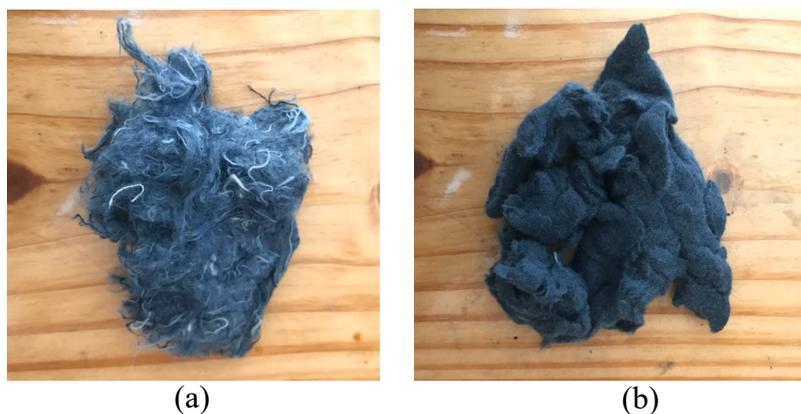
O couro caprino curtido ao tanino foi adquirido da feira de Couro e Aço da cidade de Cachoeirinha-PE, em setembro de 2022. Já o couro bovino curtido ao tanino, curtume Minuano, foi adquirido na cidade de São Paulo-SP em dezembro de 2022. Esse material é comercializado para estofados e tem classe AA na categoria de qualidade do couro.

A aplicação dos couros caprino e bovino curtidos em tanino foi feita por meio da elaboração de protótipos de calçados com o abjetivo de investigar suas possibilidades e limitações, tendo em vista que a produção calçadista possui diferentes processos e maquinários, com produção artesanal e industrial. Como o mercado apresenta uma grande variedade de modelos de calçados e componentes com diferentes funcionalidades, um modelo Oxford de bico mais estreito foi escolhido por envolver a complexidade da montagem de bico e traseira, com contra forte e biqueira. Tal modelo possibilitou a análise da utilização dos maquinários específicos para estas partes, identificados previamente nas visitas técnicas em fábricas com capacidade produtiva em escala industrial. Pretendeu-se identificar os requisitos que os materiais precisam ter ao considerar as ações que estes podem receber no processo produtivo. Entende-se que tais análises processuais podem agregar informações pertinentes para delimitar as possibilidades dos materiais biodegradáveis.

#### 5.4.2. Desenvolvimento de biocompósitos

Os materiais utilizados na proposta de desenvolvimento de biocompósitos são provenientes de dois tipos de resíduos de jeans: (i) resíduos de jeans de algodão desfibrado (**Figura 28a**), coletados de uma empresa de reciclagem têxtil (Curitiba, Paraná, Brasil); e (ii) resíduo de jeans de algodão em pó (**Figura 28b**), de outra empresa de reciclagem têxtil (região metropolitana de São Paulo, Brasil).

**Figura 28.** (a) Resíduos de jeans desfibrado (b) Resíduos de jeans em pó



Fonte: Autoria Própria

Os resíduos são compostos 100% de algodão. Os resíduos desfibrados foram obtidos a partir do processo típico de corte e agulhamento cilíndrico (LAROCHE, 2021). Os resíduos de fibra de jeans em pó foram capturados pelo coletor do exaustor da desfibradeira, acumulados no processo de trituração. Uma solução líquida de goma arábica (Radex, Tombras, Brasil) foi empregada como aditivo de base biológica.

Soluções aquosas foram preparadas com água e solução de goma arábica nas seguintes proporções percentuais (v/v): 90/10; 80/20; e 50/50. Cerca de 40 gramas de resíduo de jeans foram empregados para 5 litros de cada solução. Molduras de madeira (20 x 16 cm e 20 x 20 cm), com uma tela de peneira plástica fixada (tamanho da abertura de 1 mm), foram imersas nessas dispersões e então levantadas para formar camadas. As camadas foram prensadas para eliminar o excesso de líquido (cerca de 33 kg durante uma noite) e conformar melhor o compósito. As camadas obtidas foram deixadas em repouso por 24 horas para secar em local aberto. Esta técnica foi baseada no processo artesanal de produção de papel (ASUNCIÓN, 2002; CEDRAN, 1997).

### 5.4.3. Testes laboratoriais

#### 5.4.3.1. Ensaio de tração dos materiais

Foram realizados ensaios de tração nos seguintes materiais biodegradáveis: couros caprino e bovino curtidos em tanino; couro bovino curtido ao cromo para referência; e nos dois tipos de biocompósitos desenvolvidos (com resíduos de jeans em pó e desfibrado, conforme item 5.4.2.) (**Quadro 3**). A origem dos couros caprino e bovino curtidos ao tanino já foi descrita no item 5.4.1. O couro bovino curtido ao cromo foi adquirido na região do Brás (São Paulo-SP) em 2020. No caso dos biocompósitos, os testes de tração foram realizados após um mês de produção das amostras (agosto de 2022).

**Quadro 3.** Materiais utilizados nos ensaios de tração

<b>Couros</b>	<b>Biocompósitos</b>
Caprino curtido em tanino	Base de resíduos de jeans em pó
Bovino curtido em tanino	Base de resíduos de jeans desfibrado
Bovino curtido em cromo	

**Fonte:** Autora Própria

Foram determinados valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa). Foi utilizado o dinamômetro da marca Instron (modelo 5569) (**Figura 29**), com célula de carga de 1 kN, velocidade de 100 mm/min, garras emborrachadas de 2,5 x 2,5 mm. A climatização dos materiais seguiu a norma ABNT 10455: 2021 (20° de temperatura e 65% de umidade) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021a).

**Figura 29.** Dinamômetro da marca Instron (modelo 5569)



**Fonte:** Autora Própria

A preparação das amostras de couro seguiu a norma NBR ISO 3376: 2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), com espaçamento entre garras de 45 mm. A localização da retirada das amostras de couros seguiu a norma ABNT NBR ISO 2418: 2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), resultando em 5 amostras para o sentido longitudinal e 5 amostras para o vertical tendo como base a espinha dorsal, com largura útil de 10 mm (**Figuras 30a e 30b**).

**Figura 30.** (a) Amostras de couro caprino prontas para o teste no dinamômetro (b) Couro de caprino com indicação do sentido longitudinal, parte dorsal do animal



**(a)**



**(b)**

**Fonte:** Autora Própria

A origem dos couros caprino e bovino curtidos ao tanino já foi descrita no item 5.4.1. O couro bovino curtido ao cromo foi adquirido na região do Brás (São Paulo-SP) em 2020.

Os biocompósitos foram feitos pela autora, os testes foram realizados após um mês de produção das amostras, seguindo a norma (“teste Grab”) de materiais para calçados (ABNT NBR 14188:2021) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b) (**Figura 31**). As amostras possuíam o tamanho de 20 x 16 cm e as garras foram posicionadas no interior da amostra mantendo um distanciamento de 75 mm entre elas.

**Figura 31.** Camadas do biocompósito de resíduo de jeans desfibrado aguardando secagem após preparação



**Fonte:** Autora Própria

#### 5.4.3.2. *Microscopia*

A análise estéreo-microscópica foi feita com equipamento de marca Leica, modelo MS5 (Alemanha) (**Figura 32**), que possui câmera de vídeo de captação digital de imagem acoplada (Vista, Protos IV, modelo VPC 122/CH, 1/2” CCD, Grã-Bretanha). As ampliações das imagens dos couros corresponderam às medidas nominais de 0,63 (20 vezes) e 1,6 (51 vezes), já os biocompósitos 0,63 (20 vezes). As imagens foram captadas e processadas pelo sistema Video Analyser 2000 code 250 (Mesdan, Itália).

**Figura 32.** Estéreo-microscópio da marca Leica (modelo MS5)



**Fonte:** Autoria Própria

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

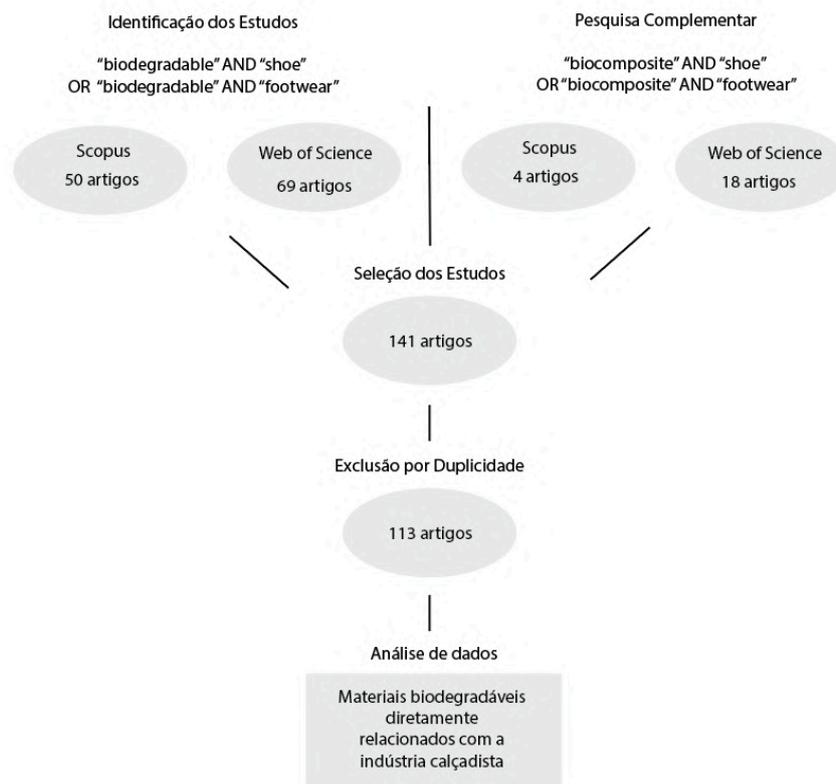
### **6.1. Materiais biodegradáveis para calçados**

#### **6.1.1. Revisão sistemática da literatura**

Materiais são elementos essenciais quando se trata de sustentabilidade, pois fazem o vínculo com as questões cruciais em torno do gerenciamento de resíduos, conectando seu uso, transformação e demanda. Estudar os materiais vem sendo o maior impulsionador das inovações para a sustentabilidade na moda. Os motivos estão na importante etapa da escolha dos materiais para que os produtos sejam classificados como sustentáveis, o que envolve a substituição de materiais tradicionais para amenizar impactos causados atualmente. Entretanto, essa escolha não pode ser apenas paliativa, precisa atuar como agente efetivo de mudança em diversos setores relacionados (FLETCHER, K.; GRASE, 2011).

O processo da obtenção dos resultados da Revisão Sistemática da Literatura pode ser observado na **Figura 33**, onde esquematiza o protocolo da revisão. Uma análise bibliométrica foi elaborada a partir da perspectiva das palavras-chaves que mais apareceram entre os artigos selecionados.

**Figura 33.** Esquema do protocolo de Revisão Sistemática da Literatura (RSL)



**Fonte:** Autoria Própria

Uma análise de redes foi elaborada pelo programa VOSviewer, onde foram apresentados os principais clusters a partir das palavras-chaves mencionadas pelo menos duas vezes nos resumos dos artigos. Os principais clusters identificados foram “manufatura de calçados”, “couro” e “poliuretano” (**Figura 34**).





2022	Biopolimérico de quitosana modificado por celulose de kombucha	Produtos injetados e tinta pra bioimpressão	Chitosan Modified by Kombucha-Derived Bacterial Cellulose: Rheological Behavior and Properties of Convened Biopolymer Films	(NGUYEN et al., 2022b)
2022	Compósito biodegradável de fibra de papiro e borracha natural	Sola de calçados	Development of Papyrus Fiber Reinforced Natural Rubber Composite for Shoe Sole	(BEMERW et al., 2022)
2022	Fibra de polietileno de base biológica - Dyneema®	Tênis Norda 001 - cabedal	Sustainable product developments and innovations	(TEXTILES INTELLIGENCE, 2022)
	Algodão orgânico	Tênis Eco-Theory Vans - cabedal		
	Cortiça	Tênis Eco-Theory Vans - plamilha		
	Cânhamo	Tênis Eco-Theory Vans - cadarço		
	Borracha natural	Tênis Eco-Theory Vans - sola; sola		
	Nylon biodegradável - Sensil® BioCare	Cabedal		
	Couro artificial de micélio - Ecovative	Cabedal		
Fio de folhas de abacaxi	Têxteis para calçados			
2021	Polímero biodegradável para impressão 3D	Componentes de calçados	Polymer Materials for 3D Printing and the Possibility of their Lise in Shoe production: range of plastics of innovative funtionality	(KONOVALOVA et al., 2021)
2021	Tecidos de banana	Artigos de couro	Investigations on Structural, Mechanical and Thermal Properties of Banana Fabrics for Use in Leather Goods Application	(SINGARAJ et al., 2021)
2021	Compósito polimérico biodegradável de resíduos de calçados pós consumo: Couro e polímero	Sola de calçados	Biodegradable polymer composite based on NBR rubber and protein waste	(NIȚUICĂ et al., 2021)

2020	Biocompósito de celulose microbiana e fibras de folhas	Alguns componentes de calçados	Preparation and Characterization of Nonwoven Fibrous Biocomposites for Footwear Components	(ASABUWA NGWABEBHOH et al., 2020)
2020	Biomaterial de óleo de mamona e bambu	Sola de calçados	Women's Footwear Sole for the Elderly Produced with Sustainable Material: Friction Coefficient Analysis	(DOS SANTOS et al., 2020)
2020	Compósito de micélio com fibras naturais	Sola de calçados	Development of Mushroom Mycelium Composites for Footwear Products	(SILVERMAN; CAO; COBB, 2020)
	Borracha natural	Sola de calçados		
	Fibra de eucalipto	Cabedal e forro		
	Linho	Componentes de calçados		
	Cânhamo	Componentes de calçados		
2020	Palha de milho	Componentes de calçados	Design and Simulation study of fire-resistant biodegradable shoe	(KOHLI et al., 2020)
	Casca de coco	Componentes de calçados		
	Bambu	Componentes de calçados		
	Abará	Componentes de calçados		
	Folhas de abacaxi	Componentes de calçados		
	Madeira	Sola de calçados		
2020	Espuma biodegradável de poliuretano	Palmilha	Biodegradable polyurethane foam as shoe insole to reduce footwear waste: Optimization by morphological physicochemical and mechanical properties	(MUKHERJEE et al., 2020)
2020	Compósito biodegradável de resíduos pós consumo de poliuretano termoplástico e	Componentes de calçados	Biodegradable polymeric composite based on recycled polyurethane and rubber wastes: Material	(ALEXANDRESCU et al., 2020)

	borracha vulcanizada		for green shoe manufacturing	
2020	Tratamento antibacteriano biocompatível	Palmilha de couro	Application of chitosan-encapsulated orange oil onto footwear insock leathers spray drying technique for an environmentally sustainable antibacterial formulation	(YILMAZ; KARAVANA, 2020)
2019	Biocompósito de colágeno e queratina	Acabamento de couro de uso especial	Biocomposites based on collagen and keratin with properties for agriculture and industrie applications	(NICULESCU et al., 2019)
2019	Poliéster 93,8% biodegradável - PrimaLoft® Bio™	Cabedal	Product developments and innovations	(TEXTILES INTELLIGENCE, 2019a)
2019	Têxteis de fibras naturais: Lyocel, bambu, algodão, viscose, juta e rafia	Cabedal e forro	Panorama of natural fibers applied in Brazilian footwear: materials and market	(KOHAN et al., 2019)
	Látex com juta	Sola de calçados		
	Biocompósito de fibras naturais, látex e resíduo de couro	Cabedal		
	Biocompósito de Kombucha	Cabedal		
2019	Material celulósico multicamadas	Cabedal	Multilayered Cellulosic Material as a Leather Alternative in the Footwear Industry	(NAM; LEE, 2019)
2019	Filme bioplástico	Componente de calçados	Development of bioplastic film for application in the footwear industry	(CARVALHO et al., 2019)
2019	Jeans de fibra de Lyocell - den/IM TECH	Cabedal	Denim: Product Developments and Innovations	(TEXTILES INTELLIGENCE, 2019b)
2019	Compósito biodegradável de Poliuretano Reciclado e	Sola de calçados	Biodegradable Polymer Composite based on Recycled Polyurethane	(LAURENTIA et al., 2019)

	Resíduos de Couro Acabado		and Finished Leather Waste	
2018	Compósito biodegradável a partir de resíduos de couro	Palmilha de calçados	Leather Insole with Acupressure Effect: New Perspectives	(SENTHIL et al., 2018)
2017	Compósito biodegradável de policaprolactona com resíduo de couro	Componentes de calçados	Processing and characterization of waste leather based polycaprolactone biocomposites	(JOSEPH et al., 2017)
2017	Seda BioSteel	Cabedal	Delivering on spider silk's promise	(SCOTT, 2017)
2016	Biomaterial de celulose bacteriana	Cabedal	Case study of renewable bacteria cellulose fiber and biopolymer composites in sustainable design practices	(LEE, 2016)
2016	TPU biodegradável	Sola de calçados	Biobased additives as biodegradability enhancers with application in TPU-based footwear componentes	(FERNANDES et al., 2016)
2015	Pigmento 100% biodegradável para acabamento em couro	Acabamento com pigmento para couro	Rheological behaviour of ecologic pigment pastes for natural leather and fur finishing	(NICULESCU et al., 2015)
2015	Compósito poliuretano a base de poliéster biodegradável	Sola de calçados	Preparation and Characterization of Footwear Soling Materials Based on Biodegradable Polyurethane	(GNANASUNDARAM et al., 2015)
2015	Espuma biodegradável	Indústria calçadista	Heat Storage and Dimensional Stability of Poly(vinyl alcohol) Based Foams Containing Microencapsulated Phase Change Materials	(BONADIES et al., 2015a)

2014	Adesivos biodegradáveis de poliuretano com óleo de soja	Colagem de couro em borracha para calçados	Synthesis and characterisation of potentially biodegradable polyurethane adhesives from soybased polyols; Biodegradable polyurethane adhesives based on polyols derived from renewable resources	(ORGILÉS-CALPENA et al., 2014a, 2014b)
2014	Couro curtido em titânio - Innova Leather	Cabedal	Innovative materials and technologies for sustainable production in leather and footwear sector; Innova-Leather - Innovative Technologies for Leather Sector	(DESELNICU et al., 2014a, 2014b)
2013	Composto biodegradável APINAT™ BIO Têxtil de algodão orgânico e linho	Tênis Puma Basket - Sola Tênis Puma Basket - cabedal	Product developments and innovations in textiles and apparel	(TEXTILES INTELLIGENCE, 2013)
2011	Poliuretano a partir de óleo de mamona	Componente de calçados	Formation of polyurethane from bio-based materials	(LOFTIS et al., 2011)
2006	PLA	Componente de calçados	End-of-life management of shoes and the role of biodegradable materials	(STAIKOS et al., 2006)

**Fonte:** Autoria Própria

De acordo com o resultado da RSL apresentado na **Tabela 6**, o desenvolvimento de novos materiais biodegradáveis para aplicação em calçados aparece no decorrer dos anos a partir de 2011, porém a maior parte dos estudos foi encontrada nos anos de 2019 e 2022. Nesta RSL, materiais já disponíveis no mercado foram mencionados, como madeira, cortiça, borracha natural, couro livre de cromo e diversos têxteis de fibra natural (cânhamo, algodão orgânico, juta, ráfia, entre outros). Parte das pesquisas tratam da substituição do couro a partir de compósitos de micélio (“kombucha”) (KOHAN et al., 2019; NGUYEN et al., 2022a, 2022b). Em relação aos componentes de calçados para

emprego dos materiais biodegradáveis, os mais especificados foram cabedal e sola, porém foram identificados materiais para palmilhas como espumas (BONADIES et al., 2015b; MUKHERJEE et al., 2020), adesivos para montagem de calçados (ORGILÉS-CALPENA et al., 2014a, 2014b), acabamento para pigmentação de couro (NICULESCU et al., 2015). e tratamentos antibactericidas (YILMAZ; KARAVANA, 2020).

## **6.2. Visita técnica em curtume de couro caprino em Belo Jardim-PE**

Na economia circular, os materiais mantêm seu valor durante um período mais extenso possível, onde os recursos utilizados e os desperdícios gerados são reutilizados e reciclados até quando o produto atinge o final de sua vida útil (MAHMOUMGONBADI; GENOVESE; SGALAMBRO, 2021). O couro é uma matéria-prima de alto valor agregado, pela sua durabilidade e alto desempenho ergonômico e de conforto. Apesar da imagem negativa que alguns o associam, se trará de um subproduto da indústria da carne. O aproveitamento das peles para a produção de novos produtos reduz a quantidade de resíduos que seriam descartados. A nível de fim de vida, são materiais biodegradáveis e recicláveis. Entretanto, é inegável que o processo de transformação das peles em couro causa grande impacto ambiental, o que notoriamente exige melhorias no seu curtimento para valorização e reaproveitamento de resíduos e efluentes (APICCAPS, 2022). A melhor diretriz é a conversão dos químicos em bioquímicos para tornar o processo mais limpo e seguro. Assim, a quantidade de químicos inorgânicos pode ser reduzida a <1% com base no peso da pele (JOSEPH; NITHYA, 2009).

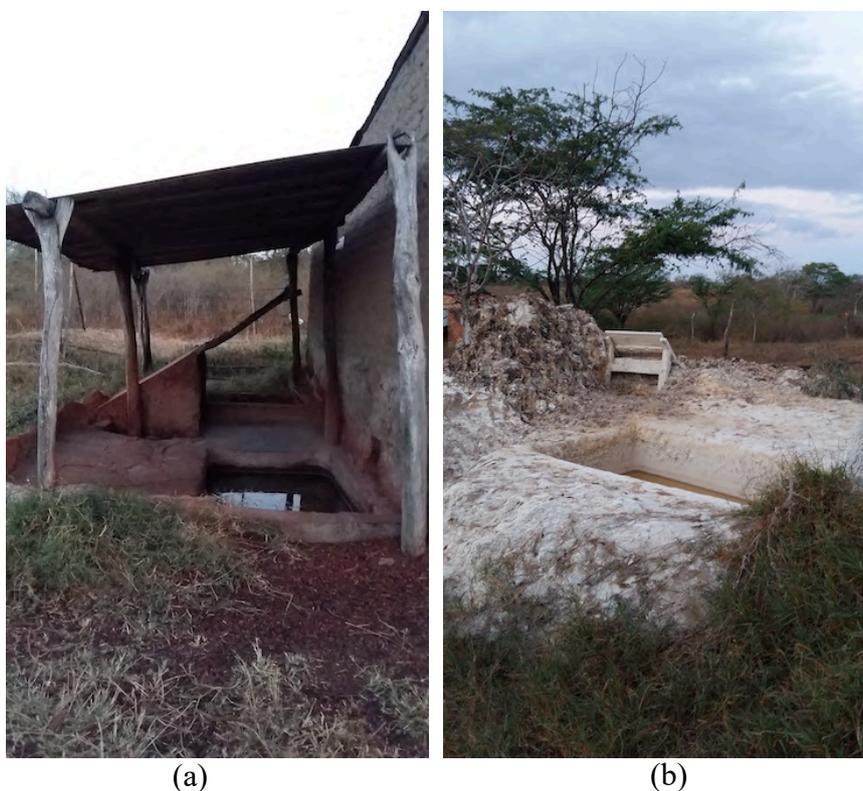
Formalmente, o Brasil possui mais de 310 empresas curtidoras de couro, que juntas constituem 42 mil postos de trabalho. Foram 44,5 milhões de couros e peles produzidas em 2012, com um investimento de R\$ 110 milhões que resultaram R\$ 6,1 bilhões. O rebanho de caprinos no mundo chega a 1,005 bilhões de cabeças, sendo que o Brasil detém 0,88% deste valor, que corresponde a 8,8 bilhões de cabeças. Apesar do grande rebanho de caprinos no Brasil, o aproveitamento das peles é somente de 29,5% da disponibilidade da matéria-prima (dados de 2014). Em contrapartida, a China possui um aproveitamento de 90% e a média mundial 50% de rendimento (LEAL; ROCHA; DA ROCHA JUNIOR, 2016).

A visita realizada ao curtume na cidade de Belo Jardim-PE promoveu uma visão detalhada de como se dá o processo de curtimento das peles de caprino de forma artesanal. O curtume fica na região rural da cidade, na parte traseira de uma pequena casa. O

proprietário trabalha com curtimento há mais de 26 anos. As peles para curtimento vêm da cidade de Bezerros-PE, que fica à quase 70 km de distância. As peles saem de um abatedouro e vai para uma salgadeira, então o curtidor já recebe as peles salgadas.

A primeira etapa é a depilação, os couros são imersos em uma solução de água com cal para que o pelo se soltem (**Figura 36b**). Depois é retirado os resíduos de carne (descarne) que ainda ficaram no couro para então irem para a etapa de curtimento. Algumas lavagens são feitas para retirar a cal do couro (**Figura 37a**). Os couros são então depositados em um tanque com um pó de taninos comprado pronto (**Figura 36a**). Tinham outros tanques dentro da casa para a etapa de curtimento ao tanino, mas não foi possível fotografar devido a falta de iluminação no momento. O curtidor falou que antigamente usava casca de angico, mas o uso foi proibido e ele passou a comprar um pó pronto.

**Figura 36.** (a) Tanque da etapa de curtimento com taninos (b) Tanque para aplicação da cal nos couros



**Fonte:** Autoria Própria

Após curtidos, os couros são colocados pra secar. Depois de secos são feitos alguns acabamentos manuais e então ficam prontos paca comercialização. Todos os processos são feitos pelo proprietário do curtume. Ele produz cerca de 400 couros por

mês. As peles salgadas são adquiridas por R\$10,00 (aproximadamente US\$ 2,00) e o couro curtido é vendido entre R\$30,00 e R\$35,00 (cerca de US\$ 6,00 e US\$ 7,00 respectivamente). Em relação aos resíduos gerados, foi informado que os resíduos sólidos (**Figura 37b**) são recolhidos por um caminhão da prefeitura. Já os resíduos líquidos não foi especificado como é feito o tratamento e descarte da água utilizada.

Foi relatado que atualmente só existem outros três curtumes na cidade, mas que antigamente eram várias deles espalhados na zona rural da cidade.

**Figura 37.** (a) Tanques de lavagens dos couros (b) Resíduos das etapas de depilação e descarte



(a)

(b)

Fonte: Autoria Própria

Quando se faz um comparativo do desenvolvimento da indústria coureira entre as regiões do Brasil, observa-se que a desigualdade regional é fruto da assimetria do crescimento capitalista. Sua evolução concentra-se em algumas regiões enquanto outras estão condenadas a estagnação, com grande desperdício produtivo. Essa dinâmica global, que se reflete em escala regional, acentua as principais questões socioeconômicas brasileiras, onde o Centro-Sul concentra grande parte do desenvolvimento tecnológico contrastando com as regiões Norte e Nordeste. Deste modo, há uma urgente necessidade em discutir políticas públicas que promovam investimentos para sanar as desigualdades regionais (MACÊDO, 2013).

Para tornar a caprinocultura competitiva e ecologicamente sustentável é essencial o aperfeiçoamento da organização produtiva e o investimento contínuo em pesquisa-desenvolvimento-inovação. Entre os investimentos na indústria do couro, apenas 7% foram direcionados a pesquisa e treinamento de pessoas, destinando a maior parte para aquisição e manutenção de maquinários. As queixas vindas dos curtumes (reclamação trabalhista), apontam para o descarte inadequado de resíduos e efluentes. São diversas as inovações que podem promover melhorias à indústria do couro caprino, a exemplo do tratamento dos efluentes (LEAL; ROCHA; DA ROCHA JUNIOR, 2016)

### 6.3. Visita em feira de couros caprinos em Cachoeirinha-PE

A feira de Couro e Aço que acontece semanalmente na cidade de Cachoeirinha, no estado de Pernambuco, fica localizada no centro da cidade. Ela tem um porte grande, ocupando parte das principais ruas e se espalha entre as vielas (**Figura 38**). O setor de comercialização dos couros fica concentrado em algumas dessas ruas, e a feira é organizada por setores: matéria-prima para equipamentos de montaria (couro e aço); vestimenta em couro estilo sertanejo (coletes, chapéus, gibões, botas, cintos); peças prontas de montaria (sela, arreios, esporas e estribos). Os couros comercializados são bovinos e caprinos, em sua maioria caprinos curtidos em tanino pelos próprios vendedores.

**Figura 38.** Carros onde são comercializados os couros, ocupando as vielas



**Fonte:** Autora Própria

Os couros são expostos nos próprios carros dos vendedores ou espalhados no chão próximo aos veículos (**Figuras 39, 40 e 41**). O início da feira no setor de couros acontece

das 4h às 11h da manhã, porém os vendedores encerram as atividades conforme ainda tiverem couros disponíveis. A procura pelo couro caprino curtido em tanino é destinada a produção de selas, indumentárias, calçados e acessórios. Geralmente os vendedores já possuem encomendas e fazer as entregas no dia da feira.

**Figura 39.** Comercialização de couro caprino na feira do Couro e Aço em Cachoeirinha-PE



**Fonte:** Autora Própria

O vendedor entrevistado também informou que o melhor período da feira é entre junho e setembro, e que a média de vendas semanalmente é entre 50 e 100 peças de couro. O preço unitário depende do tamanho, fica entre R\$ 30,00 e R\$ 35,00 (cerca de US\$ 6,00 e US\$ 7,00 respectivamente).

**Figura 40.** Exposição de couros caprinos sobre os carros dos próprios vendedores

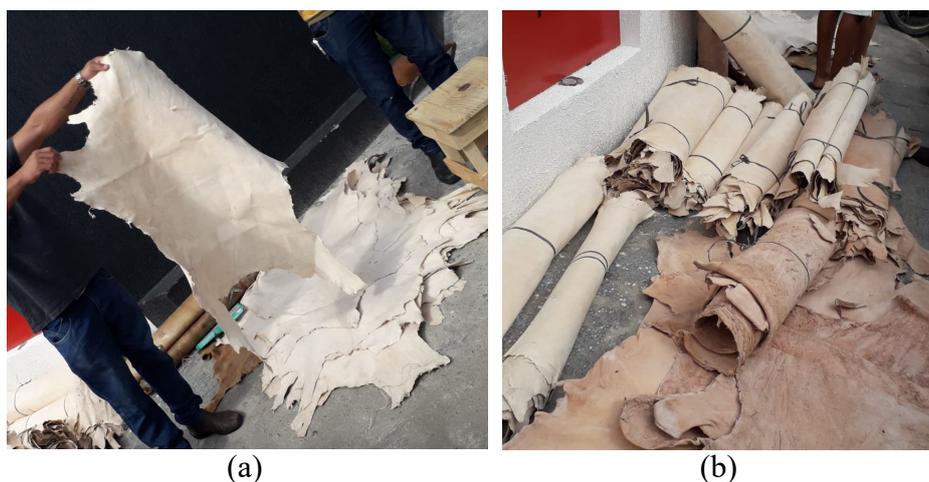


**Fonte:** Autora Própria

Os tipos de couro caprino comercializados na feira são com e sem pelo, como pode ser visto na **Figura 41**. Os couros exalam um cheiro bem forte, característico dos

couros caprinos e do processo de curtimento que deixa a desejar na qualidade. Percebe-se que o couro é mais seco e que precisa de mais alguns tratamentos em comparação aos couros curtidos ao cromo disponíveis no mercado. Os couros bovinos encontrados na feira possuem muitos furos e marcas em comparação com os caprinos. Acredita-se que devido ao tipo de criação do animal em zona de caatinga e pelo tamanho do animal passando pelo tipo de vegetação. A origem dos couros caprinos é comumente proveniente de curtumes próprios dos vendedores, localizados nas proximidades.

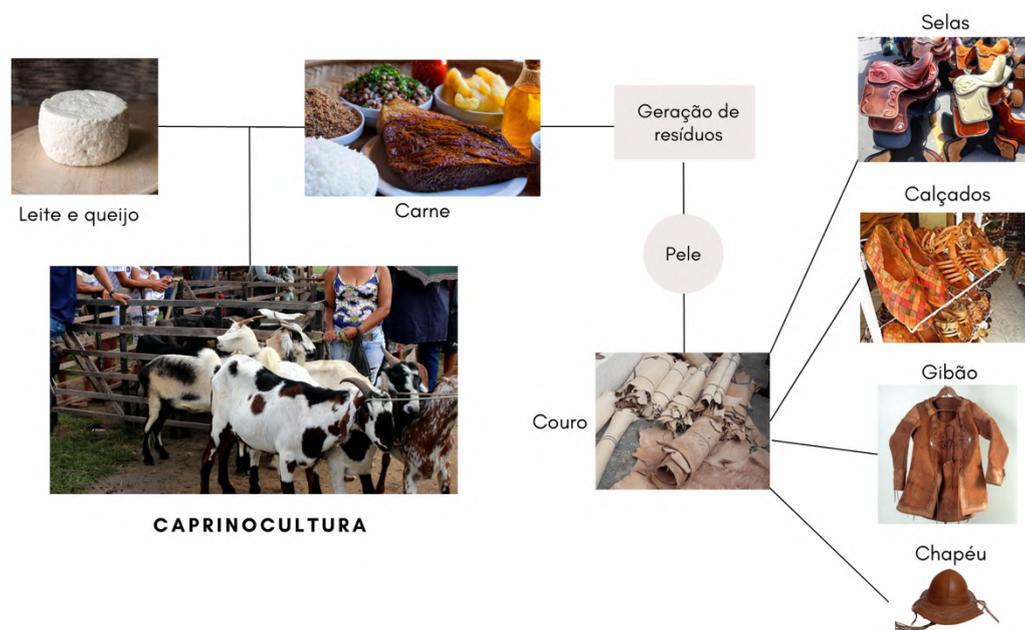
**Figura 41.** (a) Couros de caprino sem pelo (b) Couros de caprino com pelo (os mais escuros) e sem pelo (os mais claros)



**Fonte:** Autoria Própria

Além da venda na feira, os couros são vendidos para produtores de calçados das cidades de Caruaru, Belo Jardim e Gavatá (todas em Pernambuco). Essas cidades possuem ampla produção de calçados de couro curtido em tanino, principalmente sandálias. Esse tipo de calçado também é muito forte em outras regiões do nordeste.

**Figura 42.** Rede de arranjos produtivos locais da cidade de Cachoeirinha-PE e região



**Fonte:** Autoria Própria

Percebe-se que a região possui diversos arranjos produtivos locais partindo da caprinocultura com alguns clusters relacionados (**Figura 42**). Estudos apontam que um arranjo produtivo local facilita a inovação por auxiliar no processo de aprendizagem, principalmente pela interação entre os agentes. O que gera grande vantagem competitiva, pela especialização de mão-de-obra, ampliação do desenvolvimento local e aumento de produtividade. As potencialidades da rede local precisam ser vistas de forma sistêmica, de modo que políticas regionais atuem para desenvolver essas potencialidades (MACÊDO, 2013).

#### 6.4. Visita técnica em fábricas de calçados em São Paulo-SP

Dentre os polos calçadistas do Brasil, o estado de São Paulo possui alguns centros produtivos significativos. A cidade de Franca é especializada na fabricação de calçados masculinos, sendo responsável por quase 4% da exportação do país. O polo possui uma estrutura de clusters que contempla todos os insumos da cadeia, como curtumes, matrizarias, solados, entre outros. Já em Birigui a especialidade é em calçados infantis, com em média 166 empresas. O terceiro polo que se destaca é na cidade de Jaú, com mais

de 200 empresas especializadas em calçados femininos. O estado paulista detém em média 45 mil postos de trabalho no setor calçadista (SILVESTRIN; TRICHES, 2007).

Nas visitas realizadas nas fábricas de calçados, na cidade de São Paulo, foram encontradas diversas máquinas utilizadas no processo produtivo. As duas fábricas produzem tanto de modo artesanal como industrial, apesar do processo industrial ainda ter diversos processos artesanais. As principais máquinas para a construção de calçados industrialmente foram identificadas. A primeira máquina utilizada é a máquina de costura. Porém, existe a máquina de chanfrar couro que é utilizada antes da costura, quando há necessidade de afinar as bordas do material. Para facilitar o processo ela refila uma fina camada da parte inferior do couro (a raspa). As máquinas que mais impactam na agilidade do processo industrial são a máquina de montar biqueira (**Figuras 43**) e a máquina de conformar biqueira e contraforte (**Figura 44**).

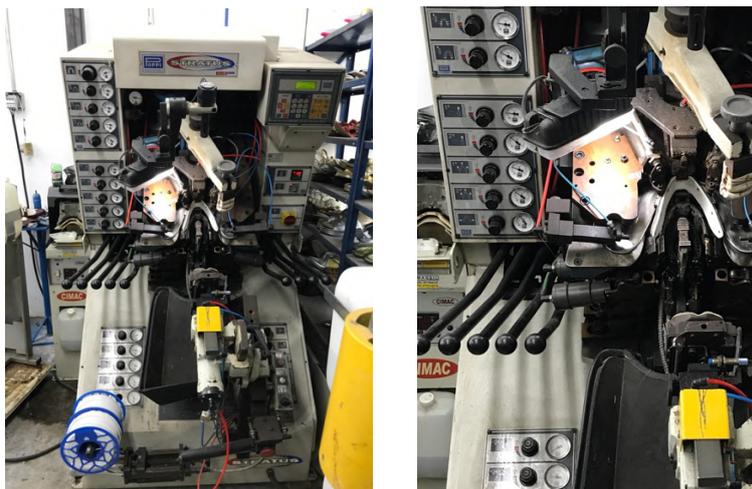
**Figura 43.** Máquina de montagem do bico do calçado da fábrica I



**Fonte:** Autoria Própria

A máquina de montar biqueira atua puxando o material do cabedal para acompanhar a curva da fôrma na ponta frontal do calçado. A pretensão principal é não deixar pregas na região. A máquina dispõe de garras ativadas sob pressão e de temperatura para aquecer o material no momento que é esticado. A fábrica II apresentou uma máquina mais moderna (**Figura 44**), com mais possibilidades de regulação por meio das alavancas que podem ajustar individualmente cada pinça que puxa o material.

**Figura 44.** Máquina de montagem de bico da fábrica II



**Fonte:** Autoria Própria

A máquina de conformar biqueira e contraforte (**Figura 45**) acomoda o contraforte e a biqueira na fôrma antes da montagem com a palmilha. O processo acontece em duas etapas. Primeiro a máquina conforma a quente e depois a frio. As temperaturas podem ser reguladas conforme a necessidade dos materiais.

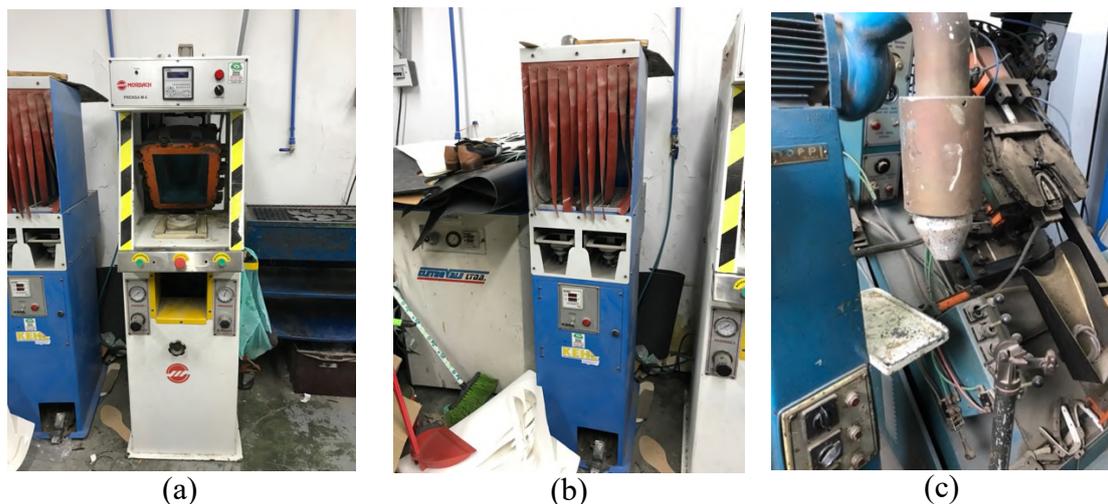
**Figura 45.** Máquina de conformar contraforte e biqueira da fábrica I



**Fonte:** Autora Própria

O charuto (**Figura 46c**) é um tubo que dispensa um jato de ar quente, que pode ser com ou sem vapor de água. Serve para ajudar a tirar as rugas dos materiais, bem como esquentar alguns adesivos antes de serem pressionados na colagem.

**Figura 46.** (a) Prensa compressora (b) Esteira de aquecimento de adesivos pré-colagem de sola (c) Charuto (emissor de jato quente com ou sem vapor de água)



**Fonte:** Autora Própria

No processo de colagem da sola, com o cabedal já montado na forma, são utilizados a lixadeira, a esteira e o compressor. A lixadeira possui um cilindro com uma lixa envolvida, que gira enquanto o calçado é aproximado para planificar acabamentos (principalmente na parte da montagem do cabedal sobre a palmilha de montagem). A esteira (**Figura 46b**) aquece o adesivo passado sobre a palmilha de montagem e a sola, antes de unir um no outro. Já o compressor (**Figura 46a**), infla um material emborrachado em torno do calçado para apertar as partes da sola por completo.

## 6.5. Aplicabilidade de materiais biodegradáveis

### 6.5.1. Prototipação: Montagem de calçados em couros curtidos em tanino

Os couros curtidos em tanino apresentam alta resistência à tração e sua aplicação é diversa, como solas, cintos, celas, estofados e até mesmo na indústria automobilística (AUAD, 2018; MENDA, 2012). Entretanto, globalmente, cerca de 80% dos couros são curtidos em sais de cromo, os quais a indústria calçadista emprega amplamente (PAIVA; MORISSO, 2009).

A aplicação dos couros bovino e caprino curtidos em tanino foi realizada por meio da produção de um sapato de bico fechado, modelo de amarração chamado Oxford. Os protótipos foram produzidos pelos métodos artesanal e industrial. Foram montados um par do sapato Oxford utilizando o couro caprino e outro par com o couro bovino. Sendo

que, um pé de cada material foi montado manualmente e o outro industrialmente. A proposta foi comparar a reação dos materiais nos dois processos produtivos em relação ao couro tradicionalmente utilizado no mercado (curtido ao cromo), além de compreender os impactos que os materiais podem sofrer durante o processo produtivo. A montagem dos protótipos de forma artesanal foi realizada na fábrica I, já a montagem industrial ocorreu na fábrica II. Analisando os processos produtivos dos sapatos entre as fábricas (manual e artesanal), o que diferiu o método artesanal para o industrial foi a montagem do bico e a conformação da biqueira e contraforte. Nas demais etapas, todas as outras máquinas foram auxiliares no desenvolvimento.

Na primeira etapa os couros foram cortados, seguindo o molde do modelo Oxford, com uma lâmina afiada especial para corte de couro. Em seguida as partes cortadas foram unidas pelo processo de costura (**Figura 47a**), mas com o auxílio da cola forte, própria para calçados. Na etapa seguinte foram adicionados a biqueira (**Figura 47b**), na parte do bico do modelo, e o contraforte na sua traseira (**Figura 47a**) (também com o emprego de um adesivo específico).

**Figura 47.** (a) Costura das partes cortadas seguindo a modelagem do modelo Oxford (b) Adição da biqueira no bico do modelo (c) Adição do contraforte na traseira do modelo



(a)



(b)



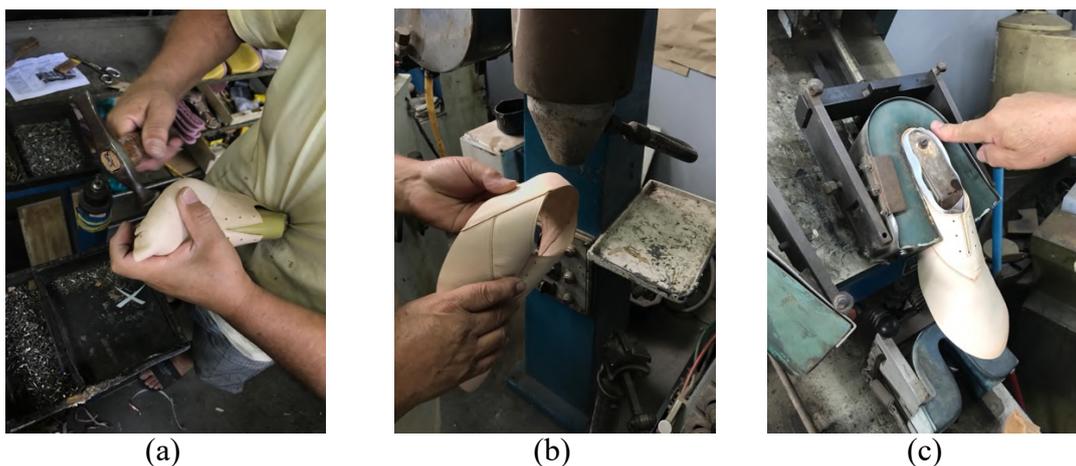
(c)

**Fonte:** Autoria Própria

Na montagem manual, o contraforte e biqueira foram conformados com tachas para prender, batidas de martelo e adesivo (**Figura 48a**). Porém com o auxílio da máquina charuto (**Figura 48b**) para ir tirando as rugas do material. A máquina emite um jato de ar quente, que neste caso o montador preferiu não utilizar o vapor de água para não manchar o material. Já na montagem industrial, as máquinas de montagem de bico (**Figura 44**) e

de conformar contraforte e biqueira (**Figura 45**) foram utilizadas. Na conformação da biqueira e do contraforte o material é pressionado por um molde, primeiro com alta temperatura e depois com baixa temperatura (**Figura 48c**). Em diversos momentos a máquina charuto é utilizada, tanto para tirar a ruga do material quanto para aquecer os adesivos (nas montagens manual e artesanal).

**Figura 48.** (a) Montagem manual da biqueira com tachas, batidas de martelo e adesivo (b) Cabedal sendo passado no charuto para retirada de rugas (c) Contraforte sendo conformado na máquina



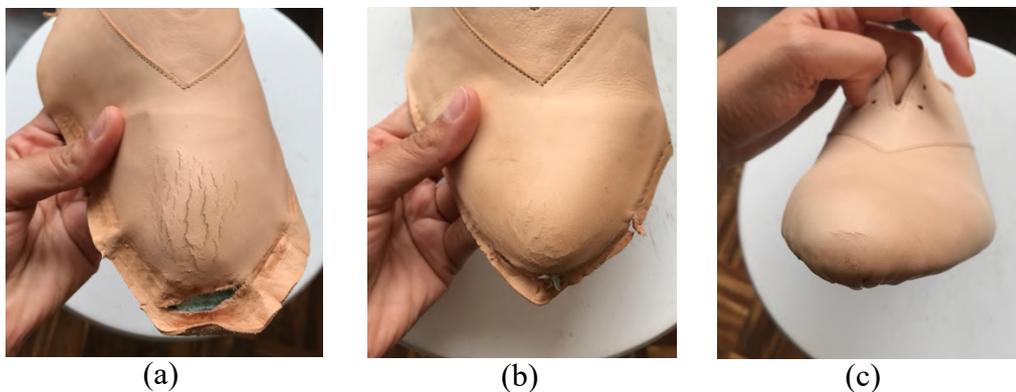
**Fonte:** Autoria Própria

Com o cabedal conformado e preso sobre a palmilha de montagem, ele segue para a lixadeira para os acabamentos e então recebe uma camada de adesivo na palminha de montagem, assim como a sola. Os adesivos são aquecidos com a inserção das partes na esteira de aquecimento (**Figura 46b**) e em seguida unidas manualmente. Por fim, o calçado é colocado dentro do compressor (**Figura 46a**) para receber uma pressão em todo seu entorno.

Durante o processo de montagem, tanto o montador do método manual quanto do método industrial, relataram que os couros são mais secos no manuseio em comparado ao couro curtido em cromo. O couro bovino é mais macio que o caprino, porém o couro caprino ao tato do montador pareceu ser mais “elástico” e mais “resistente” (entretanto, tais constatações foram puramente estéticas, sem qualquer relação com os resultados tênséis obtidos no dinamômetro – **item 6.5.2.1**). O couro bovino apresentou rachaduras na montagem do bico na máquina (método industrial) (**Figura 49**), o que necessitou um olhar mais apurado para sua regulagem até a eliminação do problema. Os montadores

também apontaram que os couros curtidos ao vegetal absorvem o suor das mãos, podem queimar ou manchar dependendo da temperatura e emissão de vapor das máquinas.

**Figura 49.** (a) Primeira tentativa de montagem de bico na máquina com couro bovino curtido em tanino (b) Segunda tentativa (c) Terceira tentativa



**Fonte:** Autoria Própria

Ressalva-se que as conclusões obtidas na análise de desenvolvimento dos protótipos dos calçados são válidas unicamente para o conjunto de amostras analisadas, não podendo ser extrapoladas para todos e quaisquer couros caprinos e bovinos, sejam estes curtidos em tanino ou em cromo. Porém, já constituem um primeiro indicativo que essas mesmas conclusões possam ser atingidas com outros conjuntos de amostras dos mesmos materiais com os mesmos tratamentos.

A viabilização da aplicabilidade dos couros curtidos em tanino envolve expertise, adequação de máquinas e processos. As máquinas são adaptáveis pela sua capacidade de regulagem e a experiência dos montadores pode contribuir no processo. Quando se trata de tendências de moda tudo é adaptado e o mercado é extremamente veloz para aplicação de novos materiais. Quando se trata de sustentabilidade os esforços tendem a não ser tão velozes quanto a incorporação de tendências fast fashion, que impõem grande diversidade de materiais e novos processos. O cluster calçadista brasileiro possui arranjos produtivos em diversas localidades, mas o Nordeste apresenta arranjos de rede local com ciclo fechado para o couro caprino (como em Pernambuco), material biodegradável ao final de vida útil.

É necessário esforços de adequação a materiais ambientalmente favoráveis, o que não passa apenas pelo desenvolvimento de novos materiais. Há grandes potenciais que

devem ser explorados e as tecnologias do processo produtivo do calçado dispõem de capacidade de adaptação (APICCAPS, 2022).

### 6.5.2. Testes laboratoriais comparativos entre os couros caprino e bovino

#### 6.5.2.1. Testes de tração

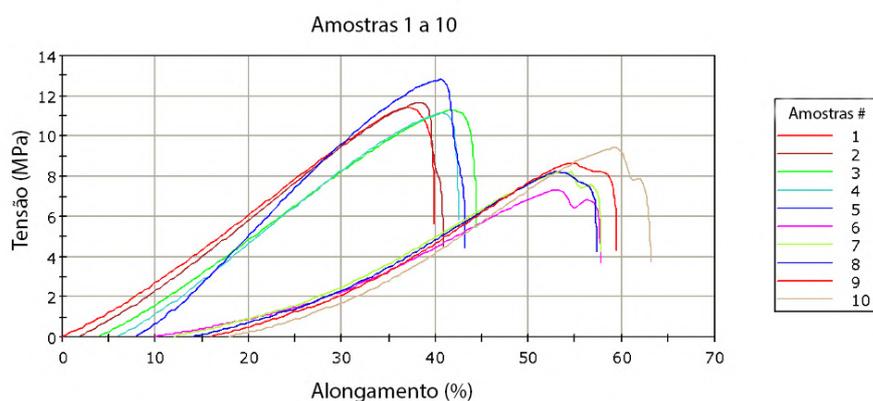
Foi identificado um estudo anterior que realizou ensaios químicos comparativos entre os couros curtidos em cromo e tanino. Apesar de se tratar de couro ovino, os resultados indicaram que a qualidade do material entre os couros é equivalente (BRAZ, 2019).

Independente do genótipo e do tipo de curtimento, os couros avaliados nesta etapa apresentam características semelhantes, indicando que o cromo pode ser substituído por tanino sem perda da qualidade do material.

Para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo, foram determinados valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa). Os resultados na íntegra para o couro caprino curtido em tanino se encontra no **Apêndice 4**, para o couro bovino curtido em tanino no **Apêndice 5** e para o couro bovino curtido em cromo no **Apêndice 6**.

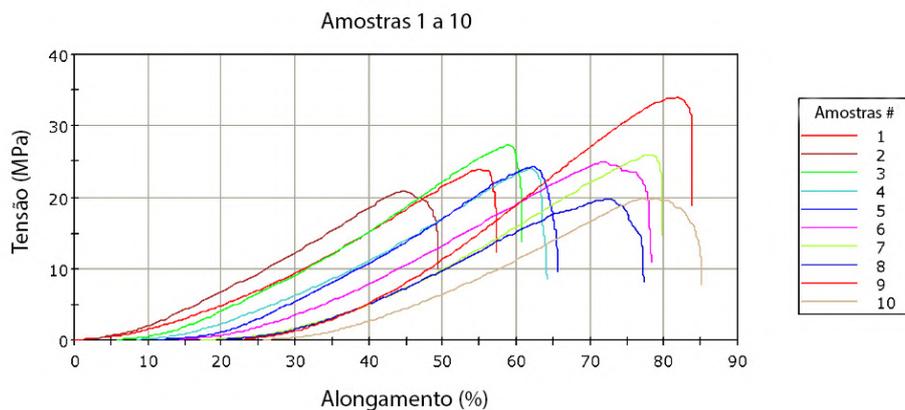
O gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro bovino curtido no tanino é apresentado na **Figura 50**, para o couro bovino curtido em cromo na **Figura 51** e para o couro caprino curtido em tanino na **Figura 52**.

**Figura 50.** Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro bovino curtido em tanino. As curvas 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal



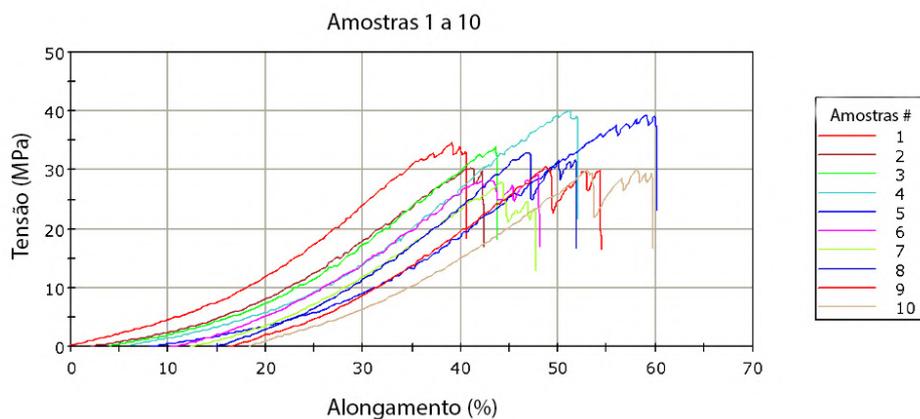
Fonte: Autoria Própria

**Figura 51.** Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro bovino curtido em cromo. As curvas 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal



**Fonte:** Autoria Própria

**Figura 52.** Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para couro caprino curtido em tanino. As curvas 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal



**Fonte:** Autoria Própria

Observa-se na **Figura 50** que, para os resultados do couro bovino curtido em tanino, há diferença significativa de comportamento das curvas de tensão (MPa) por alongamento (%) para as amostras em sentido longitudinal com maiores valores (próximos de 14 MPa) em relação às amostras em sentido transversal (próximos de 10 MPa). Sobre os valores de alongamento, as amostras em sentido longitudinal tiveram menores valores (próximos de 50%) em relação às amostras em sentido transversal (próximos de 40%).

Pela **Figura 51**, para os resultados do couro bovino curtido em cromo, não há diferença significativa de comportamento das curvas de tensão (MPa) por alongamento (%) para as amostras em sentido longitudinal e transversal (próximos de 30 MPa). Sobre os valores de alongamento, as amostras tiveram valores próximos de 80%.

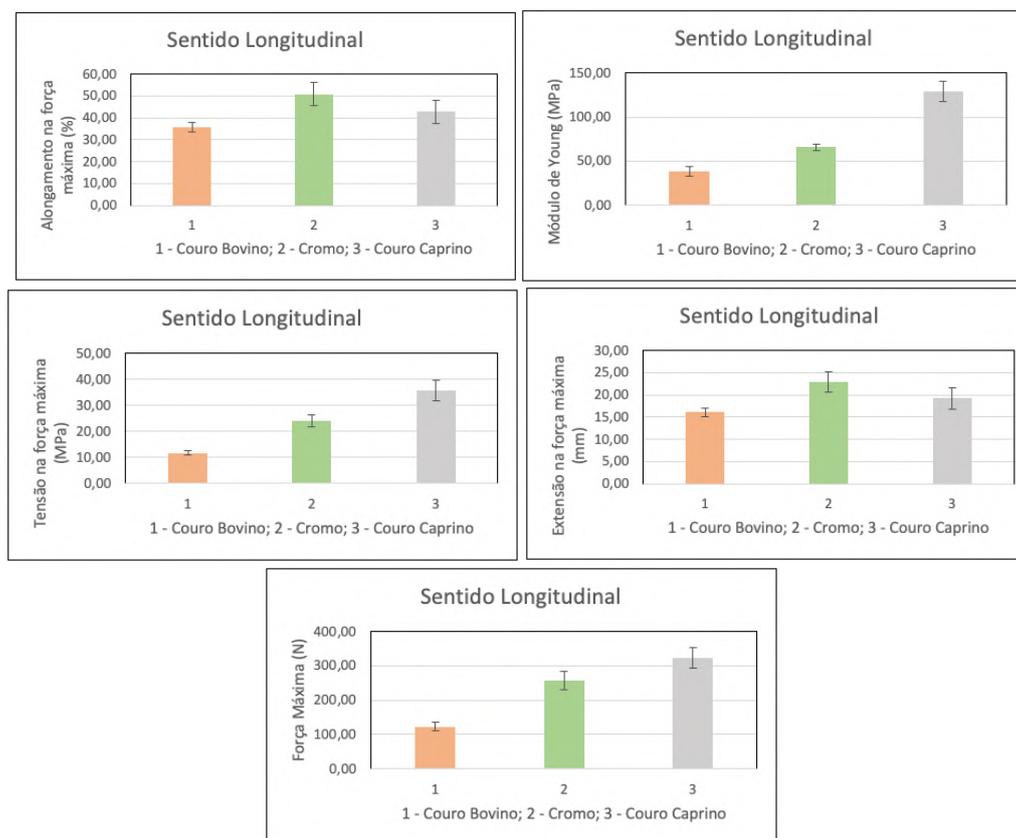
Na **Figura 52**, para os resultados do couro caprino curtido em tanino, também não há diferença significativa de comportamento das curvas de tensão (MPa) por alongamento (%) para as amostras em sentido longitudinal e transversal (próximos de 35 MPa). Sobre os valores de alongamento, as amostras tiveram valores próximos de 65%.

Comparando os gráficos das **Figuras 50, 51 e 52**, somente para o couro bovino curtido em tanino apresentou diferença nos resultados das amostras em sentido transversal e longitudinal. O mesmo também apresentou os menores valores de tensão (MPa) e alongamento (%) em relação aos respectivos valores dos couros bovino curtido em cromo e caprino curtido em tanino. Para estes dois últimos apesar de serem de origens distintas (tipo de animal e curtimento) apresentaram resultados semelhantes. Logo, dentre as 3 amostras analisadas o couro caprino demonstra ser mais resistente.

A análise gráfica dos valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo se encontram na íntegra no **Apêndice 7**. Nas **Figuras 53 e 54**, são apresentadas as sumarizações comparativas de todos os resultados para o sentido longitudinal e transversal respectivamente.

Observa-se que o módulo de Young (MPa) também é chamado de módulo de elasticidade (MPa). Nesta dissertação, o conceito de “elasticidade” também foi empregado no sentido estético (tátil) quando foram realizados os protótipos de calçados no **item 6.5.1**, mas neste caso não possui qualquer relação com o módulo de elasticidade ou módulo de Young (MPa).

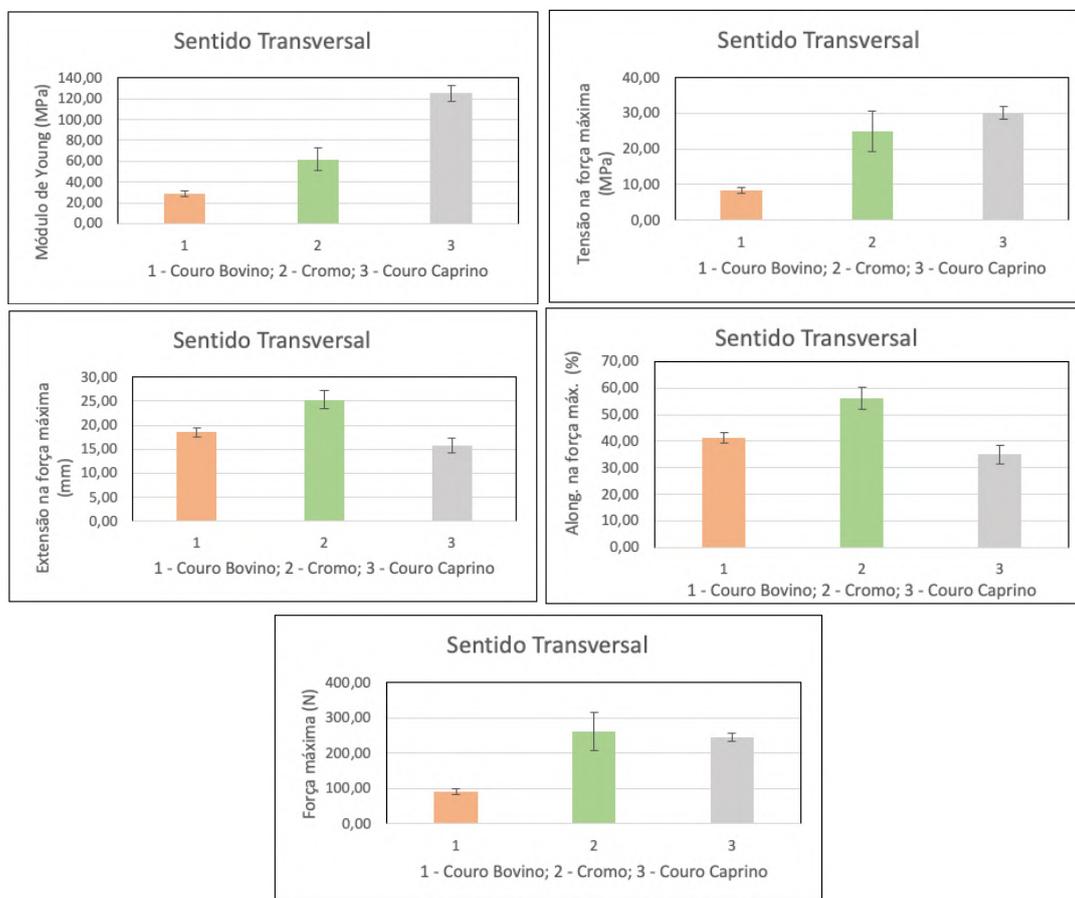
**Figura 53.** Gráficos comparativos de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo no sentido longitudinal



**Fonte:** Autoria Própria

De acordo com os resultados apresentados na **Figura 53** para as análises no sentido longitudinal, o couro caprino curtido em tanino possui valores de média de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa) e módulo de Young (MPa) superiores aos respectivos valores de médias do cromo, os quais são superiores aos de couro bovino curtido em tanino. Assim o couro caprino é o mais resistente à tração e o mais rígido dos três materiais analisados (em sentido longitudinal). Os couros caprino e bovino curtido ao cromo possuem valores de média equivalentes para extensão na força máxima (mm) e alongamento na força máxima (%), sendo que estes são superiores aos do couro bovino curtido em tanino. Assim, o couro bovino é o material que além de menos resistente e menos rígido, possui menor alongamento entre os três materiais analisados (em sentido longitudinal). Esses resultados estão de acordo com a análise efetuada das **Figuras 50, 51 e 52**.

**Figura 54.** Gráficos comparativos de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo no sentido transversal



**Fonte:** Autoria Própria

Conforme os resultados apresentados na **Figura 54** para as análises no sentido transversal, o couro caprino possui valores de módulo de Young (MPa) superiores aos respectivos valores de médias do bovino curtido ao cromo, os quais por sua vez são superiores aos de couro bovino curtido em tanino. Assim o couro caprino é o mais resistente à tração e o mais rígido dos três materiais analisados (em sentido transversal). Os couros caprino e bovino curtido ao cromo possuem valores de média equivalentes para força máxima (N) e tensão na força máxima (MPa), sendo que estes são superiores ao do couro bovino curtido em tanino. O couro bovino curtido ao cromo possui valores de média de extensão (mm) e alongamento na força máxima (%) superiores ao couro bovino curtido em tanino, os quais por sua vez são superiores ao do couro caprino. Assim o couro

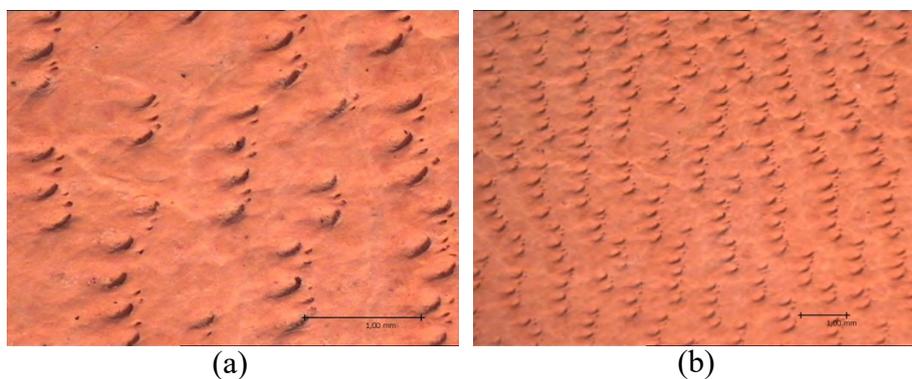
bovino curtido em tanino é o material menos resistente e menos rígido, porém é o couro caprino que possui menor extensão (mm) e alongamento (%) (em sentido transversal). Esses resultados também estão de acordo com as análises apresentadas nas **Figuras 50, 51 e 52**.

Ressalva-se que as conclusões obtidas para os testes de tração são válidas unicamente para o conjunto de amostras analisadas, não podendo ser extrapoladas para todos e quaisquer couros caprinos e bovinos, sejam estes curtidos em tanino ou em cromo. Porém, já constituem um primeiro indicativo que essas mesmas conclusões possam ser atingidas com outros conjuntos de amostras dos mesmos materiais com os mesmos tratamentos, visto que, os mesmos resultados foram atingidos na análise de desenvolvimento dos protótipos dos calçados elaborados neste estudo, conforme **item 6.5.1**.

#### 6.5.2.2. Microscopia

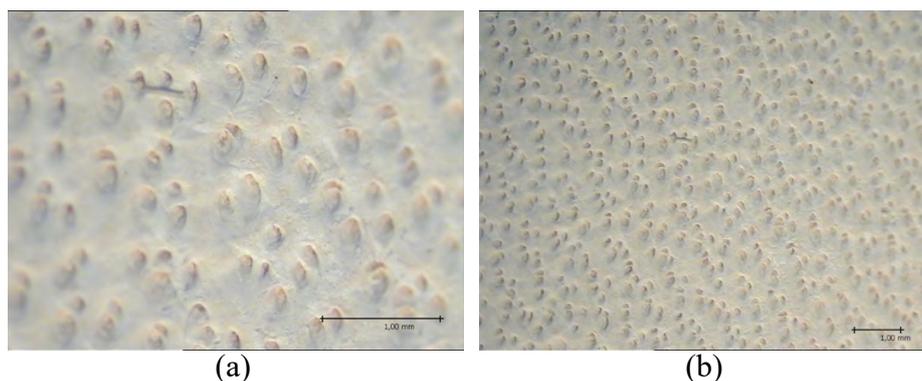
Para os couros caprino e bovino curtidos em tanino foram determinadas as microscopias das superfícies com ampliação de 20 e 51 vezes. A **Figura 55** apresenta as micrografias da superfície superior (flor- parte mais lisa) do couro caprino curtido em tanino; a **Figura 56**, micrografias do couro bovino curtido em tanino; e a **Figura 57** a comparação dessas micrografias entre os dois tipos de couro.

**Figura 55.** Microscopias da superfície superior (flor- parte mais lisa) com indicação de escala de 1 mm do couro caprino curtido em tanino. **(a)** Ampliação 51x **(b)** Ampliação 20x



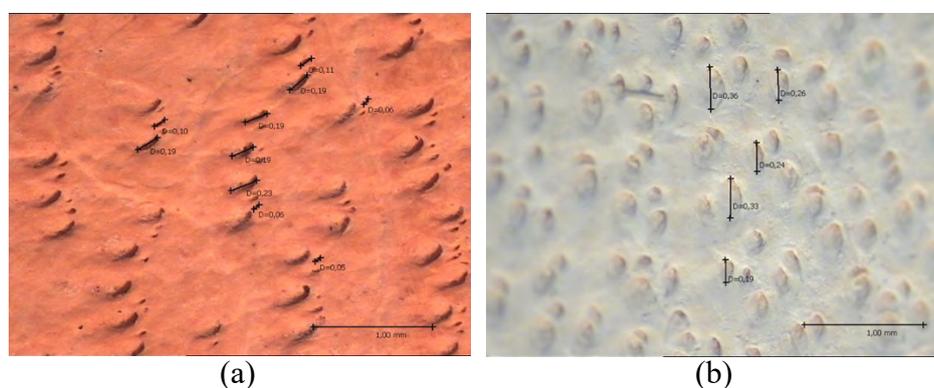
**Fonte:** Autoria Própria

**Figura 56.** Microscopias da superfície superior (flor- parte mais lisa) com indicação de escala de 1 mm do couro bovino curtido em tanino. **(a)** Ampliação 51x **(b)** Ampliação 20x



**Fonte:** Autoria Própria

**Figura 57.** Microscopias das superfícies superiores (flor- parte mais lisa) com indicação de escala de 1 mm e ampliação 51x **(a)** Couro caprino curtido em tanino **(b)** Couro bovino curtido em tanino



**Fonte:** Autoria Própria

De acordo com a **Figura 55**, a disposição dos poros do couro caprino é apresentada de forma agrupada e espaçamento entre os grupos. Já a disposição dos poros do couro bovino, conforme **Figura 56**, é mais uniforme na sua distribuição. A **Figura 57** demonstra que os poros do couro caprino possuem uma variação médias de dois tamanhos (valores médios de 0,06 mm e 0,20 mm), já os poros do couro bovino possuem um tamanho médio de aproximadamente 0,28 mm. Considerando que os couros passam por um processo de depilação onde a cal atua nos poros para promover a queda dos pelos, pode-se considerar que isso pode afetas as caracterizações dos materiais.

Estudos apontaram que o couro curtido em tanino é mais instável termicamente, porém quando as temperaturas superam 250 °C (BRAZ, 2019). A sua solidez à luz apresenta alteração de cor a depender do tipo de tanino utilizado no curtimento (para tons

de amarelo ou vermelho), porém todos se tornaram mais escuros após exposição à luz (AUAD, 2018). Esta alteração de cor pode ser observada na **Figura 57**. O couro caprino (**Figura 57a**) recebeu exposição à luz por um longo período, já o couro bovino (**Figura 57b**) não teve exposição.

#### 6.6. Visita técnica em fábrica de jeans em Toritama-PE

Durante a visita à fábrica de roupas de jeans na cidade de Toritama (Pernambuco, Brasil), foram identificados diferentes tipos de resíduos gerados em seu ciclo de processo produtivo. Duas fontes foram identificadas: no processo de corte de tecido e no processo de costura das peças. O processo de corte é uma das primeiras etapas da produção, assim que os resíduos são gerados, são separados e embalados.

Os resíduos gerados pela fábrica correspondem a 800kg mensais. Os tecidos empregados são: jeans 100% algodão e jeans 97% algodão com 3% de elastano. Um tecido 100% algodão branco mais leve é empregado para o forro dos bolsos das peças de vestuário produzadas. A separação dos resíduos do processo de corte é feita por categorias: (i) jeans; e (ii) tecido de algodão branco. Na etapa de embalagem, os resíduos de jeans com elastano (correspondente a 70%) são descartados juntamente com o jeans 100% algodão (30%) na mesma embalagem (**Figura 58**). Foi informado nas entrevistas que esses resíduos de corte de tecidos são vendidos para uma empresa local de reciclagem têxtil. A sobra de jeans é vendida por R\$ 0,20/kg (aproximadamente U\$ 0.04/kg) e a sobra de algodão branco por R\$ 1,10/kg (aproximadamente U\$ 0.22/kg). Os resíduos do processo de corte representam cerca de 90% do total de resíduos têxteis gerados nesta fábrica (cerca de 720 kg).

**Figura 58.** Resíduos de jeans coletados do processo de corte do tecido (jeans 100% algodão junto com jeans 97% algodão e 3% de elastano)



Fonte: Autoria Própria

O processo de costura gera um tipo diferente de resíduo, que é uma mistura de jeans e tecido de algodão branco usado para o forro nas peças (**Figura 59**). Algumas máquinas de costura possuem exaustores acoplados para aspiração do pó gerado durante este processo, sendo a coleta desses resíduos realizada uma vez por ano. Os resíduos da costura são descartados no lixo comum. A geração desse tipo de resíduo é estimada em 10% da produção total de resíduos (cerca de 80 kg).

**Figura 59.** Mistura de jeans com tecido branco de algodão, resíduos do processo de costura



**Fonte:** Autoria Própria

Os resíduos do processo de corte são vendidos para uma empresa de reciclagem têxtil para produção de enchimentos de estofados. No entanto, os resíduos do processo de costura são destinados ao aterro sanitário, mesmo possuindo a mesma composição dos resíduos gerados pelo processo de corte.

### **6.7. Desenvolvimento de biocompósitos a partir de resíduos têxteis**

As indústrias de calçados buscam alternativas menos poluentes implementando práticas sustentáveis, como a substituição de materiais e produtos químicos perigosos. Além das questões produtivas, a busca dos consumidores por produtos mais limpos impulsiona o posicionamento das empresas para o desenvolvimento sustentável (SILVA; MORAES; MODOLO, 2015). Estudos de desenvolvimento de materiais biodegradáveis têm avançado nos últimos anos. O interesse é encontrar a substituição de materiais de base petroquímica por fontes renováveis e biodegradáveis para o desenvolvimento de produtos (ZHANG et al., 2016). A evolução da consciência ambiental dos consumidores,

aliada à demanda por bioprodutos, são os impulsionadores para o enfrentamento dos desafios do setor calçadista (FERNANDES et al., 2018).

Os resíduos de fibras naturais têm sido fontes valiosas para o desenvolvimento de biomateriais (NGWABEBHOH et al., 2020). Os resíduos da indústria de jeans apresentam uma grande oportunidade de reciclagem, no entanto, os principais problemas no tratamento dos resíduos têxteis estão relacionados: a logística (coleta dos resíduos têxteis e seu fluxo de separação); a distância entre as áreas produtoras e consumidoras; e o fluxo do ciclo de reprodutibilidade (LUIKEN; BOUWHUIS, 2015). Nesse contexto, o desenvolvimento de novos compósitos, baseados em materiais naturais e adotando processos de produção verdes, tornou-se de grande interesse (NGWABEBHOH et al., 2020).

O tecido jeans é conhecido mundialmente, possui mais de 400 anos de história (AMUTHA, 2017; REGAN, 2015). Embora o jeans tenha sido desenvolvido com a finalidade de ser uma vela resistente para barcos, passou a ser utilizado em roupas de trabalhadores e hoje é utilizado em diversos tipos de vestuário na indústria da moda, principalmente nas calças jeans (AMUTHA, 2017). Em geral, o tecido é feito de algodão, cerca de 10-20% da geração de algodão no mundo é empregada na produção do tecido jeans (ANNAPOORANI, 2017; SCHROTT; PAUL, 2015).

O jeans é o item têxtil mais vendido no mundo (SCHROTT; PAUL, 2015). Sua produção global é estimada em mais de 1,7 bilhão de peças por ano, com mais de 70% da produção de tecido jeans concentrada em países asiáticos (AMUTHA, 2017). No entanto, os maiores consumidores de tecido jeans são Estados Unidos, Europa e Japão, que juntos representam 64% do consumo global de jeans. No Brasil, a produção é de cerca de 600 milhões de metros lineares por ano (DIAS; ALVARENGA; SALES, 2018). Um dos principais polos industriais brasileiros de roupas jeans está localizado em Toritama (PE), conhecida como a “cidade do jeans”. Toritama é responsável por aproximadamente 15% da produção nacional de roupas jeans, cerca de 60 milhões de peças por ano, concentrando mais de 3.000 confecções e mais de 50 lavanderias industriais (SEBRAE, 2019). A cidade de Toritama é um polo industrial de jeans, com quase 2.600 pontos fabris, entre pequenas, médias e grandes fábricas. Emprega cerca de 14% da produção nacional de tecido jeans. São produzidos cerca de 2 milhões de peças de jeans por mês, o que representa 16% da produção brasileira de jeans (MOURA, 2018).

A expressiva produção de roupas jeans gera grande impacto ambiental durante o processo produtivo, principalmente nas etapas de tingimento e lavagem. A indústria

enfrenta grandes desafios para mitigar os impactos causados em todas as etapas da produção, inclusive na reciclagem dos resíduos têxteis (DIAS; ALVARENGA; SALES, 2018).

### ***6.7.1. Recuperação e reciclagem dos resíduos industriais de jeans***

Globalmente, uma grande quantidade de têxteis é descartada todos os anos (PERIYASAMY; MILITKY, 2017). Além da disposição em aterros, a indústria costuma incinerar os resíduos. Os efeitos dos resíduos em aterros sanitários são preocupantes, pois liberam metano em sua decomposição, corantes e produtos químicos são depositados no solo (TEMMINK; BAGHAEI; SKRIFVARS, 2018). O processo de compostagem é considerado um tipo de reciclagem fazendo parte do ciclo biológico C2C (berço ao berço). Esses tipos de descarte ignoram materiais que poderiam se tornar matérias-primas para o desenvolvimento de um novo produto. No entanto, o descarte de sobras de algodão para compostagem pode não ser sustentável devido ao impacto gerado em seu processo produtivo, o que prioriza o seu reaproveitamento (LUIKEN; BOUWHUIS, 2015). Nesse caso, a reciclagem representa a melhor alternativa para reduzir o descarte de resíduos e proporcionar benefícios ambientais. Sua prática reduz o consumo de materiais virgens, evitando produção de geração de novas demandas (PERIYASAMY; MILITKY, 2017).

A geração de resíduos do processo de corte industrial é de 10% a 15% do consumo de tecido na produção de roupas jeans. São resíduos de alta qualidade, com identificação exata de composição. No processo de reciclagem, os têxteis são geralmente triturados em fibras fragmentadas. A trituração é mecânica e utiliza tecnologia de ponta (LUIKEN; BOUWHUIS, 2015). Atualmente, o material triturado é convertido em feltros (não tecidos) usados para isolamento na construção civil e em automóveis, mas é possível triturar têxteis para recuperá-los em forma de fibra semelhante à fibra de algodão virgem (**Figura 60**) (LUIKEN; BOUWHUIS, 2015; SCHROTT; PAUL, 2015). Esse material também tem potencial para ser processado em papel, além de servir de base para outras misturas poliméricas no desenvolvimento de materiais compósitos (SCHROTT; PAUL, 2015)(SCHROTT; PAUL, 2015). Além disso, poderia ser empregado como matéria-prima para o desenvolvimento de biocompósitos para substituir certos derivados de petróleo (PERIYASAMY; MILITKY, 2017).

**Figura 60.** Processo de reciclagem do jeans: do tecido ao fio



**Fonte:** (PALAIS DE LEAU, 2020)

Para o desenvolvimento de produtos de alto valor a partir de resíduos, questões logísticas precisam estar disponíveis. As principais implicações são a distância entre o local de geração de resíduos e a produção, ou seja, a estabilidade e reprodutibilidade no fluxo de materiais. Esta é a questão central para a reciclagem em escala industrial, sendo a logística de separação a principal ferramenta para desenvolver o fluxo de resíduos reprodutível. Assim, esse fluxo pode ser reproduzido em larga escala, ponto que justifica os esforços em pesquisa e desenvolvimento no processo de reciclagem de jeans (LUIKEN; BOUWHUIS, 2015).

#### **6.7.2. Biocompósitos a partir de resíduos da indústria do jeans**

Questões ambientais têm impulsionado melhorias na ciência de polímeros para o desenvolvimento de biocompósitos. Ao contrário dos compósitos poliméricos que empregam fibras sintéticas, os biocompósitos à base de fibras naturais podem ser descartados ou compostados sem danos ambientais. Estima-se que até 2030 a produção de materiais de fontes renováveis aumente em até 25%. O emprego de fibras naturais em compósitos se destaca por sua resistência relativamente alta, baixo peso, resistência à corrosão e à fadiga e por possuir livre conformidade. São compostos de celulose, hemiceluloses, lignina e pectina. Biocompósitos com reforço de fibras naturais apresentam melhorias nas propriedades estruturais e funcionais, além de baixo custo (GURUNATHAN; MOHANTY; NAYAK, 2015).

As fibras naturais se decompõem em condições aeróbicas e anaeróbicas. Além disso, por terem origem biológica, podem ser chamados de biorresíduos (FAYOMI et al., 2020). As fibras dos resíduos do jeans são compostas de algodão, que é constituído por

95% de celulose, um polímero que se decompõe rapidamente, de 1 semana a 5 meses (ABIDI, 2018; PERIYASAMY; MILITKY, 2017). Portanto, resíduos de jeans são considerados um biorresíduo celulósico, matéria-prima altamente biodegradável.

Compósito é um material constituído por dois componentes: reforço e matriz (FAYOMI et al., 2020). As fibras naturais como reforço são combinadas com uma matriz de base biológica para o desenvolvimento de materiais biocompósitos. Não há muitos exemplos desse tipo de compósito empregando resíduos de jeans (LEPELAAR; NACKENHORST; OSKAM, 2017). No entanto, um artigo recente encontrado na literatura relatando um biocompósito produzido com resíduos de jeans e biorresina como um possível substituto para materiais à base de petróleo (AL-SABAEI et al., 2019).

### 6.7.3. *Desenvolvimento experimental de biocompósitos*

Uma avaliação visual foi feita nas camadas obtidas a partir das distintas proporções das soluções aquosas empregadas em cada tipo de resíduo (desfibrado e em pó) (**Tabela 7**).

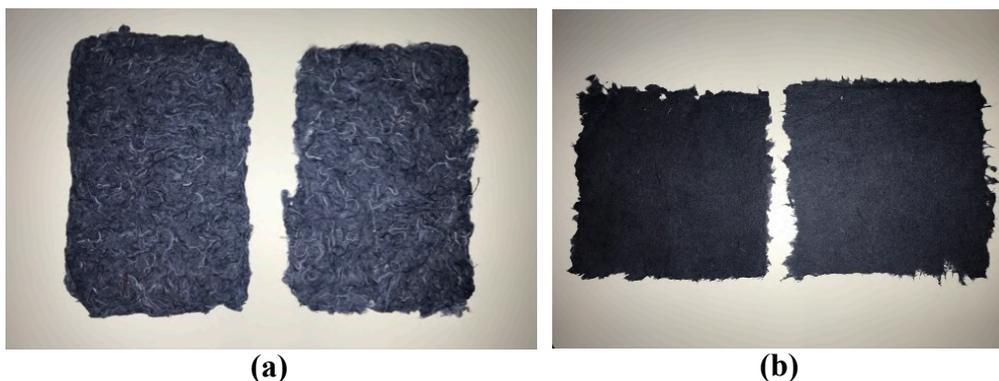
**Table 7.** Resultados para os biocompósitos empregando resíduos desfibrados ou em pó em diferentes proporções de soluções aquosas

Água	Goma arábica	Resultado para obtenção das camadas
90%	10%	Material rompeu facilmente
80%	20%	Material rompeu facilmente
50%	50%	Integração satisfatória do material

**Fonte:** Autoria Própria

Os melhores resultados para ambas as camadas geradas (fibras trituradas ou em pó) foram obtidos empregando-se a proporção percentual (v/v) 50% solução de goma arábica / 50% água (**Tabela 7**). Dois diferentes biocompósitos foram obtidos: (i) uma camada "macia" com fibras trituradas (espessura de 1,4 mm) (**Figura 61a**); e (ii) uma camada "condensada" com fibras em pó (espessura de 0,7 mm) (**Figura 61b**). A camada "macia" apresentou maior porosidade em relação à camada "condensada", pois as fibras trituradas, por apresentarem maiores dimensões, proporcionam maior espaço entre si.

**Figura 61.** Materiais biocompósitos empregando: (a) resíduos de jeans desfibrado (16x20 cm); (b) e resíduos de jeans em pó (20x20 cm)



**Fonte:** Autoria Própria

As matérias-primas desempenham um papel fundamental nos impactos ambientais causados pela produção e consumo de produtos. Inovações em materiais e processos de tratamento podem garantir a redução de impactos em toda a cadeia da indústria. O design circular evita o descarte de materiais e produtos em aterros sanitários (LABLACO, 2020).

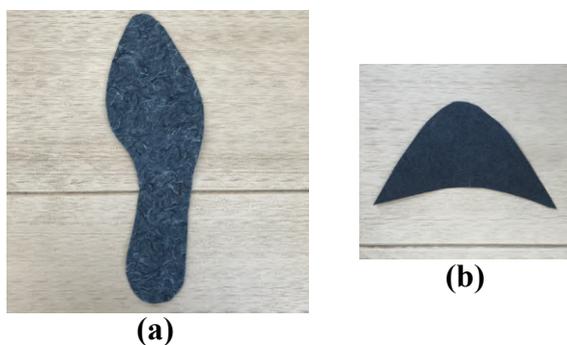
A conexão entre geração de resíduos x matéria-prima envolve uso, transformação e demanda. A escolha dos materiais vem se destacando pela inovação sustentável na indústria da moda. A substituição de materiais reduz impactos, mas precisa promover mudanças úteis e não apenas soluções paliativas (FLETCHER, K.; GRASE, 2011). Dentre os principais impactos da indústria calçadista, está a geração de resíduos provenientes de materiais que não se integram ao meio ambiente (FLACH et al., 2017). Masiero (2018) relata que para 57.500 pares de calçados são empregados 37.000 quilos de matérias-primas; gerando 2.800 quilos de resíduos, o equivalente a cerca de 7,5% da quantidade de material utilizado.

A crescente conscientização ambiental enfatiza o emprego de materiais biodegradáveis (JOSEPH et al., 2017; ZHANG et al., 2016). Os biocompósitos aplicados na construção de calçados impactam significativamente a proteção ambiental, e promovem a educação de produtores e consumidores sobre o consumo e descarte de produtos (GAIDAU et al., 2016; GNANASUNDARAM et al., 2015).

A construção de um calçado possui uma grande variedade de componentes em sua composição, dependendo do tipo de calçado e do processo produtivo empregado. Cada componente tem um desempenho funcional no calçado (JOSEPH et al., 2017; ZHANG

et al., 2016). As características dos materiais dos componentes de calçados foram avaliadas e comparadas com os biocompósitos produzidos, a fim de definir em qual componente esses biocompósitos poderiam ser empregados. Desta forma, palmilha e biqueira foram propostas para aplicações dos biocompósitos desenvolvidos: a palmilha para o biocompósito de resíduo de jeans desfibrado (**Figura 62a**) e a biqueira para o biocompósito de resíduo de jeans em pó (**Figura 62b**). O biocompósito com fibras de algodão desfibrado pode ser aplicado em palmilhas, pois as fibras conferem maciez ao material. A camada resultante do resíduo de jeans em pó é mais condensada e mais fina, melhor para aplicações de reforço como biqueira e contraforte.

**Figure 62.** Propostas de componentes de calçados para aplicação dos biocompósitos: (a) palmilha com biocompósito de resíduo de jeans desfibrado; (b) biqueira com biocompósito de resíduo de jeans em pó



**Fonte:** Autoria Própria

As palmilhas podem ter diferentes funções como a palmilha de montagem, que é a base de montagem dos calçados, colocada em cima da sola. Já a palmilha de acabamento promove o conforto ao pé, protegem a palmilha de montagem e podem ser multicamadas (LIGER, 2015). A biqueira reproduz a forma da área dos dedos da fôrma e é aplicado por baixo da parte superior do calçado. Sua função é manter a forma estrutural do calçado (ANDRADE; CORRÊA, 2001). Os materiais tradicionais de palmilha mais utilizados são: EVA, espuma sintética, papelão, laminado sintético e couro (MENA, 2012a; VIANA; ROCHA, 2006). Já as biqueiras e contrafortes são feitos com termoplástico ou camada de fibras com adesivo impregnado (FASHIONERY, 2015).

Os biocompósitos são materiais sustentáveis e podem ser reciclados. As fibras naturais possuem boas propriedades específicas e quando combinadas com uma matriz apropriada, o material pode ser 100% biodegradável. A compostagem desse tipo de material é uma possível solução para os problemas de disposição dos resíduos derivados

do petróleo (GURUNATHAN; MOHANTY; NAYAK, 2015). Apesar disso, os materiais biocompósitos são sensíveis à umidade e à temperatura, podem ser mais caros e sua degradação é difícil de controlar. Essas desvantagens seriam superadas com o desenvolvimento de processamentos mais avançados (GURUNATHAN; MOHANTY; NAYAK, 2015; VILAPLANA; STRÖMBERG; KARLSSON, 2010).

As propriedades do biocompósito devem ser estudadas com base na aplicação pretendida, como no presente estudo para aplicações em calçados. As questões centrais são a extração da matéria-prima, implementação das propriedades dos biocompósitos, seu processamento e produção do produto, projeto de fim de vida e design do produto (FITZGERALD et al., 2021; GURUNATHAN; MOHANTY; NAYAK, 2015; VILAPLANA; STRÖMBERG; KARLSSON, 2010). Desta forma, as características dos componentes do calçado devem ser analisadas a fim de orientar as propriedades requeridas no aprimoramento dos biocompósitos. Assim, a indústria calçadista poderá investir em futuras pesquisas e aplicações de biocompósitos para modelos sustentáveis de fabricação seguindo as diretrizes da economia circular.

Depois da indústria do petróleo, a moda é considerada a indústria mais destrutiva ao meio ambiente. Os resíduos têxteis são uma preocupação global, e a sua reciclagem pode recuperar até 95% dos descartes a cada ano (DE AGUIAR HUGO; DE NADAE; DA SILVA LIMA, 2021). Até o momento, o processo de reciclagem se concentra no reaproveitamento químico e mecânico das fibras. Em contrapartida, os processos biológicos recebem pouca atenção, enquanto que essas condições são uma grande promotora entre as possibilidades de fechamento de ciclo de vida. Desenvolver sistemas circulares requer composição de insumos e acabamentos projetados para reciclagem no final da vida, neste sentido os processos de base biológica são capazes de manter o ciclo fechado tanto do produto primário (os tecidos) quanto dos produtos secundários (subprodutos da reciclagem) (RIBUL et al., 2021). O que evidencia a problemática das composições têxteis híbridas, como o elastano no jeans de algodão.

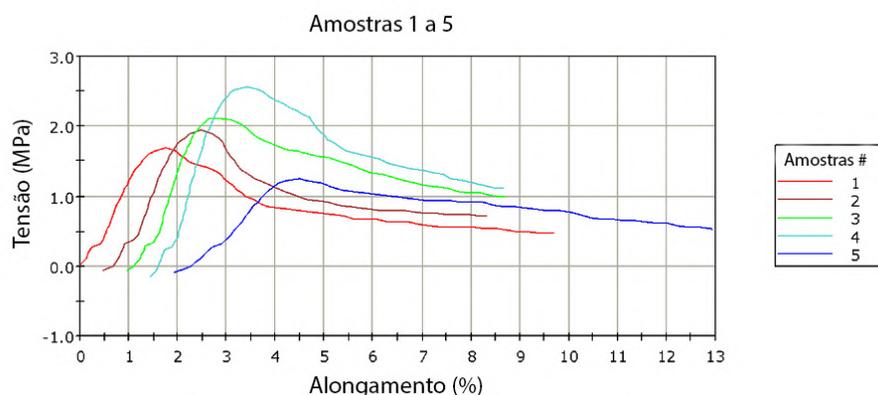
Por fim, os polímeros biodegradáveis precisam apresentar desempenho satisfatório, preços competitivos, correto processamento para compostagem e capacidade de aplicação em escala industrial. Este último tem sido uma questão limitadora devido ao elevado custo de produção, bem como a apresentação de propriedades físicas e mecânicas inferiores aos materiais de base petroquímica (SILVA, 2013).

#### *6.7.3.1. Teste de tração*

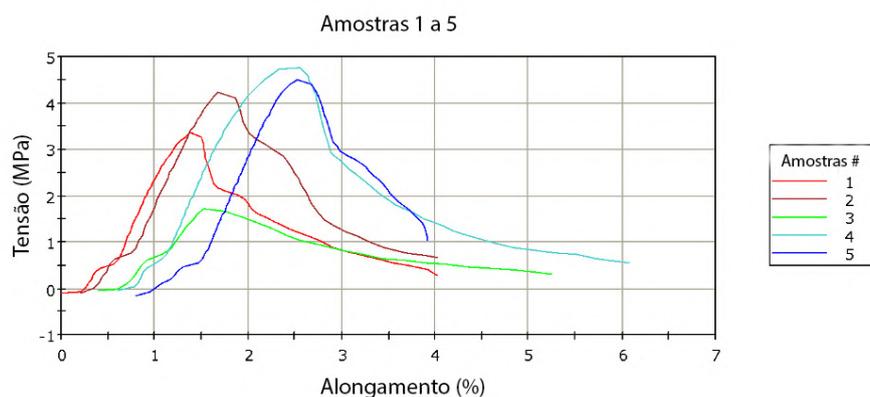
Para os ensaios de tração dos materiais biocompósitos originados do resíduo de jeans desfibrado e resíduo de jeans em pó, foram determinados valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa). Os resultados na íntegra para as amostras do biocompósito de resíduo de jeans desfibrado se encontra no **Apêndice 8**, e para as amostras do biocompósito de resíduo de jeans em pó no **Apêndice 9**.

O gráfico de tensão na força máxima (MPa) por alongamento (%) para as amostras do biocompósito de resíduo de jeans desfibrado é apresentado na **Figura 63**, para as amostras do biocompósito de resíduo de jeans em pó na **Figura 64**.

**Figura 63.** Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para amostras do biocompósito de resíduo de jeans desfibrado



**Figura 64.** Gráfico de tensão (MPa) por alongamento (%) para amostras do biocompósito de resíduo de jeans em pó



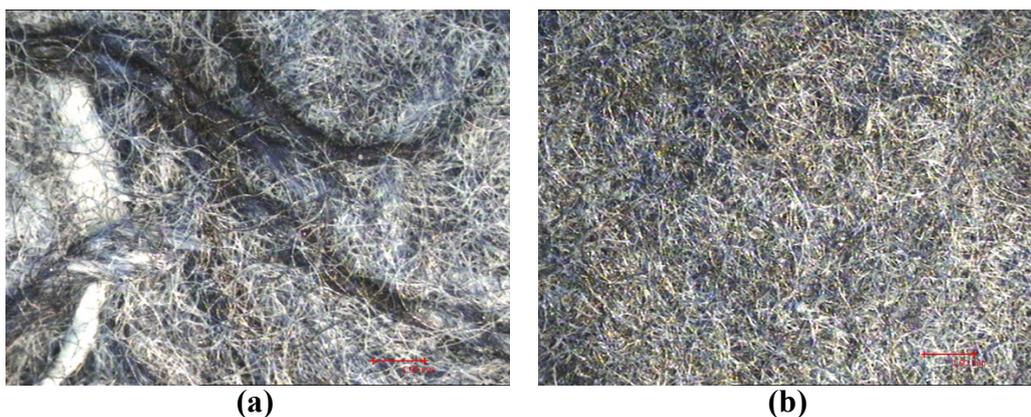
Observa-se nas **Figura 63 e 64** que, há diferença de comportamento das curvas de tensão na força máxima (MPa) por alongamento (%) para as amostras de biocompósito de resíduo de jeans em pó com maiores valores (próximos de 5 MPa) em relação às amostras de biocompósito de resíduo de jeans desfibrado (próximos de 2,5 MPa). Sobre os valores de alongamento, as amostras de biocompósito de resíduo de jeans tiveram menores valores (tipicamente de 4%) em relação às amostras em sentido de biocompósito de resíduo de jeans desfibrado (tipicamente de 9%). Os demais valores expressos nos **Apêndices 8 e 9** confirmam essas constatações, onde um pode ser considerado o dobro do outro. Destaca-se que o presente estudo buscou mais uma análise exploratória com menor ênfase a uma análise estatística mais aprofundada, tanto para os couros como para os biocompósitos.

O biocompósito de resíduo de jeans em pó possui fibras em menor dimensão e mais uniformes entre si, as quais ficaram mais compactadas durante o processo de elaboração do biocompósito, o qual resultou em maior rigidez em relação ao biocompósito de resíduo de jeans desfibrado, sendo que esses fatores levaram às diferenças constatadas nos ensaios de tração.

#### 6.7.3.2. Microscopia

Para os biocompósitos de resíduo de jeans desfibrado e resíduos de jeans em pó foram determinadas as microscopias das superfícies com ampliação de 20 vezes, respectivamente na **Figura 65a e 65b**.

**Figura 65.** Microscopias com indicação de escala de 1 mm e ampliação 20x (a) Biocompósito de resíduos de jeans desfibrado (b) Biocompósito de resíduos de jeans em pó



**Fonte:** Autoria Própria

Pela análise da **Figura 65**, o biocompósito de resíduo de jeans em pó possui fibras em menor dimensão e mais uniformes entre si em relação ao biocompósito de resíduo de jeans desfibrado, sendo este um dos fatores que levaram às diferenças constatadas nos ensaios de tração como já descrito.

### **6.8. Design circular: desafios e potencialidade na interdisciplinaridade**

Economia circular é uma área de pesquisa interdisciplinar, suas práticas e ferramentas precisam ser analisadas de forma ampla e sistêmica. A aplicação múltipla de estratégias de fechamento de ciclo integra atores objetivando uma ação concreta conjunta. O desafio está na colaboração em rede, onde todos os atores tenham alinhamento estratégico direcionados ao mesmo propósito (MOESCH, 2019). Uma implementação de sucesso subordina-se a sinergia de um conjunto funcional entre o modelo do negócio, o design do produto, a logística reversa, as circunstâncias sistêmicas e os facilitadores integrados. O que exige aprimoramento de tecnologias, fortalecimento de redes, transparência e compartilhamento de conhecimento (KUZMA et al., 2020).

Tendo em vista que a ecoeficiência visa a minimização dos impactos ambientais negativos e a ecoeficácia concentra-se no aumento dos impactos positivos, é importante reconhecer a complementaridade entre esses dois conceitos. Deste modo, estudo apontam ao uso complementar das ferramentas “*cradle to cradle*” e Avaliação de Ciclo de Vida. Nem toda reciclabilidade técnica leva os materiais à sua reciclagem na prática, assim como os materiais que liberam nutrientes biológicos chegam a sua compostagem adequada. Sistema de políticas auxiliares são necessários para que os nutrientes biológicos e técnicos alcancem sua destinação projetada (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2019).

A indústria calçadista portuguesa possui grandes avanços em projeções para evolução do setor. A APICCAPS (Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado, Componentes e Artigos de Pele e seus Sucedâneos) elaborou um plano estratégico para 2030 (**Tabela 8**), que contempla medidas que o cluster precisa para alcançar o desenvolvimento sustentável de produtos e processos.

**Tabela 8.** Medidas e ações propostas pela APICCAPS como plano estratégico 2030 do cluster calçadista

Medidas	Ações
Desenvolvimento de Matérias-Primas e Subsidiários	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Novos couros</li> <li>• Materiais substitutos do couro</li> <li>• Polímeros, formulações e compósitos; Componentes em materiais biológicos</li> <li>• Produtos sustentáveis para curtume ou recurtume; Acabamentos de base biológica ou aquosa; Adesivos de base aquosa</li> </ul>
Novos Conceitos de Produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos com menor pegada ambiental</li> <li>• Produtos com elevado conforto térmico e biomecânico</li> <li>• Produtos com elevado desempenho funcional</li> <li>• Produtos e processos “zero defeitos e resíduos”</li> </ul>
Rastreabilidade e sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferramentas para a rastreabilidade</li> <li>• Ferramentas para a sustentabilidade do cluster</li> <li>• Eco design</li> <li>• Avaliação da pegada ambiental</li> <li>• Bases de dados de materiais e tecnologias sustentáveis</li> </ul>
Eco Processos de Produção e Controle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Novos processos de produção sustentáveis e circulares para materiais, componentes, calçados e acessórios</li> <li>• Valorização de efluentes e de resíduos dos processos de produção de materiais, componentes e produtos</li> <li>• Metodologias e soluções para avaliação e controle dos novos produtos e processos</li> </ul>
Economia Circular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos de negócio e gestão para a circularidade</li> <li>• Reciclagem e simbiose industrial entre empresas e clusters industriais</li> <li>• Processos de reciclagem de produtos e calçados pós consumo</li> </ul>

**Fonte:** (APICCAPS, 2022)

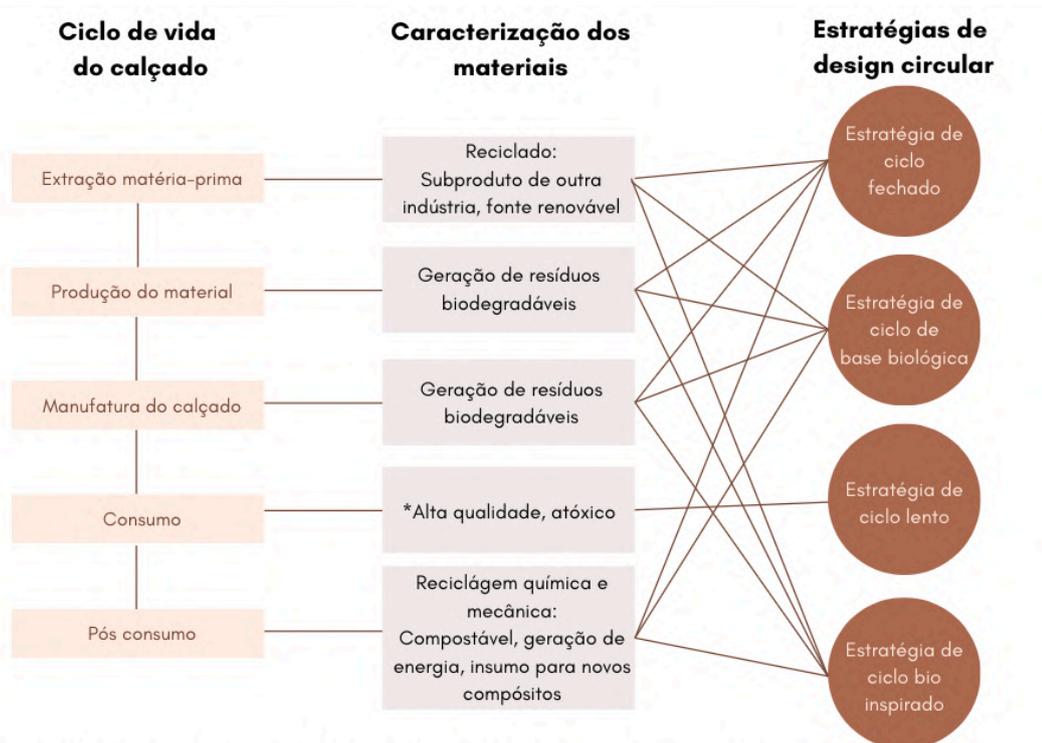
As ações indicadas reforçam a complementaridade entre ecoeficácia e ecoeficiência. São mencionadas práticas dos conceitos “cradle to cradle”, Avaliação de Ciclo de Vida e análise de criticidade dos materiais empregados. Os apontamentos compreendem as

necessidades do fechamento do ciclo da cadeia de suprimentos, o que proporciona um impacto significativo e a longo prazo com benefícios ambientais, econômicos e sociais.

A implementação do design circular em arranjos produtivos locais tem maior capacidade de otimização de recursos e manutenção de ciclos contínuos. A proximidade geográfica entre clusters potencializa as ações conjuntas, como das questões de logística, investimentos tecnológicos e articulação de forças para beneficiamento mútuo (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019).

Com base nas estratégias de design para cada etapa do ciclo de vida de um produto, propostas por Mentre e Cooper (2017), é possível concluir preliminarmente quais estratégias podem ser empregadas para os materiais biodegradáveis estudados nesta pesquisa: couros curtidos em tanino e biocompósitos de resíduo da jeans (**Figura 66**). Porém, as mesmas diretrizes também podem ser indicadas para os materiais biodegradável identificados pela RSL. Na **Figura 66** vale destacar que apenas os couros foram apontados como materiais de alta qualidade se enquadrando na estratégia de ciclo de vida lento, já que se trata de uma classificação já estabelecida no mercado. O estudo propôs perspectivas de partida para a implementação do design circular focando isoladamente nos materiais, porém após o estabelecimento dos materiais a serem empregados no calçado a mesma análise deve ser feita com o produto final, levando em consideração a interrelação entre tais materiais.

**Figura 66.** Perspectivas de estratégias de design circular em cada etapa do ciclo de vida do calçado para os couros curtidos em tanino e os biocompósitos desenvolvidos

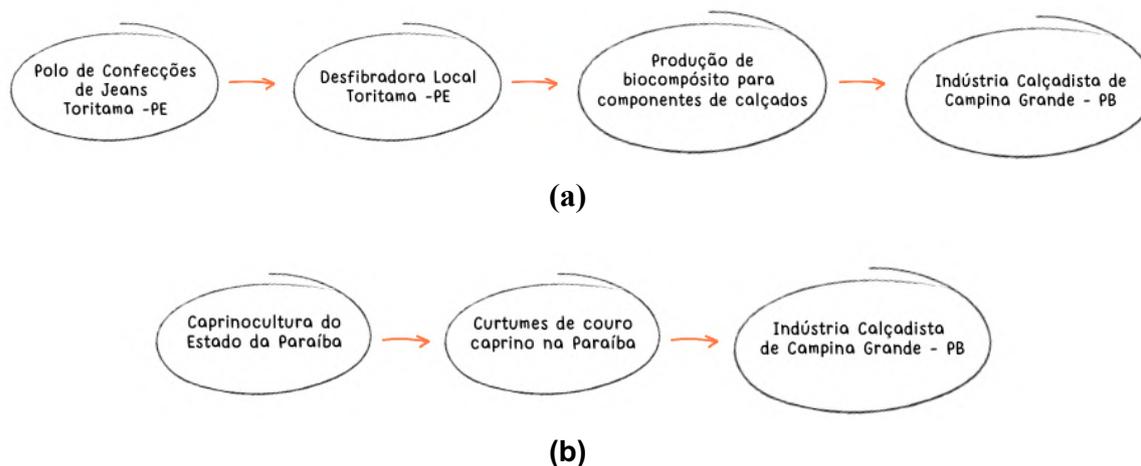


\*Apenas os couros se enquadram em materiais de alta qualidade, pois a uma classificação já é estabelecida no mercado.

**Fonte:** Autoria Própria

A proximidade geográfica entre clusters potencializa as ações conjuntas, como das questões de logística, investimentos tecnológicos e articulação de forças para beneficiamento mútuo. A rede de arranjos produtivos locais das regiões de Pernambuco abastece a população também a nível local (**Figura 42**). Portanto, ao tratar de escala industrial, tanto para a geração de resíduos quanto para a sua absorção em subprodutos, uma ampliação da área é sugerida a nível da região Nordeste para contemplar os polos industriais estabelecidos, como pode ser observado na **Figura 67a** para os biocompósitos de resíduo de jeans; os resíduos saem da indústria de jeans de Toritama-PE e os materiais seguem para o polo calçadista de Campina Grande-PB pela sua capacidade de absorção e proximidade. Já para os couros caprinos curtidos em tanino há viabilidade de já serem adquiridos na Paraíba, já que lá também existe fortemente o cultivo de cabras (**Figura 67b**).

**Figura 67.** Perspectivas de estratégias de economia circular em arranjos produtivos com escala industrial (a) na região Nordeste para biocompósitos de resíduo de jeans e (b) no estado da Paraíba para couros caprinos curtidos em tanino

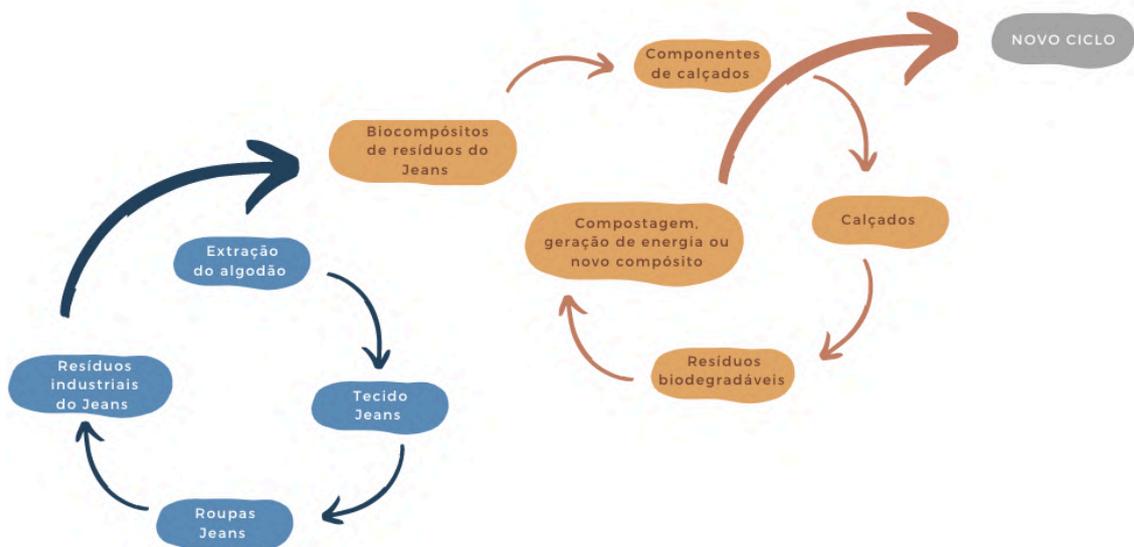


**Fonte:** Autoria Própria

Modelos de fechamento de ciclo pela perspectiva de cadeias de abastecimento contempla o pilar social e territorial, que envolve geração de empregos, garantia de rastreabilidade e valorização das potencialidades locais.

Ao analisar a aplicação da circularidade nos materiais biocompósitos experimentalmente desenvolvidos neste estudo (**Figura 68**), observa-se que o emprego dos resíduos de jeans fecha o ciclo da confecção de roupas de jeans e entram em um novo ciclo, o de desenvolvimento de calçados. Por sua vez, este novo ciclo pode resultar em resíduos como matéria-prima para um outro novo ciclo.

**Figura 68.** Análise de circularidade dos materiais biocompósitos experimentalmente desenvolvidos e as perspectivas de ciclos consecutivos.



**Fonte:** Autoria Própria

A mesma constatação pode ser empregada para os couros curtidos em tanino. Por se tratar de um subproduto da indústria da carne, o seu reaproveitamento é um fechamento de ciclo ao ser inserido em um novo ciclo, no caso o de calçados. No final de sua vida útil o material também pode ser reciclado para se tornar base para o início de um novo ciclo. Esta perspectiva pode ser prevista em cada material empregado no calçado, porém para o fechamento do ciclo do calçado é preciso considerar uma destinação conjunta entre os múltiplos materiais unidos por colas e costuras.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PESQUISAS FUTURAS

Com base em minha experiência profissional, é de grande contribuição uma análise científica que aproxima a teoria das práticas de mercado. Principalmente quando há experimentos voltados para a produção em grande escala. O desenvolvimento sustentável se trata deste cruzamento de expertises, onde a ciência e a indústria precisam caminhar de mãos dadas para identificar os verdadeiros impactos das ações praticadas no mercado.

Na RSL foi identificada uma variedade de novos biocompósitos para aplicação no calçado, bem como materiais biodegradáveis já existentes no mercado. Entende-se que para que um calçado seja viavelmente biodegradável dentro da economia circular, é fundamental que todos os seus componentes tenham os mesmos requisitos para degradação e/ou processo de reciclagem, o que implica no fechamento dessa equação de forma coerente com uma destinação final conjunta. A identificação dos clusters do couro caprino curtido em tanino, no estado de Pernambuco, demonstrou que o Brasil já possui redes circulares implementadas, assim como também existe essa potencialidade a partir da geração de resíduos da indústria de jeans em Toritama-PE.

Os biocompósitos podem reduzir a quantidade de resíduos da indústria do jeans que acabam em aterros sanitários e substituir certos componentes à base de petróleo em componente de calçados. Portanto, o retorno dos resíduos de jeans para dentro da indústria da moda, substituindo petroquímicos em componentes de calçados para serem biodegradáveis, apresenta uma grande oportunidade de implementação do sistema de economia circular na indústria da moda, podendo ser caracterizado como simbiose industrial. A etapa de seleção de materiais contribui fortemente para o desenvolvimento do design circular de calçados. Integrar a criticidade dos materiais à avaliação do ciclo de vida promove maior eficiência na projeção do produto para a economia circular, uma vez que a seleção das matérias-primas é responsável pela maior parte dos impactos ambientais causados pelo processo produtivo do calçado, principalmente quando se considera todo o ciclo de vida do calçado até o pós-consumo. Conhecer, medir e comparar os impactos ambientais dos materiais são ações fundamentais para promover sua redução, identificar a eficiência circular e contribuir para a tomada de decisões.

Assim, através de uma visão aprimorada de materiais biodegradáveis e suas aplicações, pretende-se contribuir com o avanço da sustentabilidade e a implementação da economia circular no setor calçadista brasileiro.

A tecnologia pode ser grande aliada no desenvolvimento de produtos para a circularidade, embora a aceitação do resultado por parte dos consumidores seja um requisito imprescindível. Apesar deste percurso ter foco em materiais e produtos, as dimensões sociais devem estar entrelaçadas às dimensões econômicas e ambientais. Por fim, calçados com design circular exigem modelos de negócios inovadores, seleção criteriosa de componentes para configurarem uma equação coerente com sua destinação final. Cabe ao empreendedor o investimento em inteligência e qualidade de projeto para deprender as demandas para a concepção de uma inovação de produto, que também implica em esforços para conectar as redes essencialmente envolvidas no processo do ciclo em sua completude.

Em base das considerações acima, sugerem-se como pesquisas futuras:

- Pesquisa de materiais já implementados no mercado que não são encontrados no campo científico, ou seja, uma análise do estado da prática;
- Investigação mais aprofundada sobre a degradação dos materiais e seus impactos para identificar quais critérios pode ser agregado na seleção de materiais biodegradáveis com especial atenção a uma destinação final unificada;
- Estudo de estratégias de economia circular a partir de redes de arranjos, para valorização do couro caprino curtido em tanino e dos resíduos de jeans 100% algodão, com foco na inserção do mesmo em novos ciclos da indústria da moda no Brasil.
- Análise de estratégias para o design circular a nível de produto final composto de múltiplos materiais biodegradáveis.

## 8. CONCLUSÃO

O resultado da RSL identificou materiais biodegradáveis já disponíveis no mercado, bem como o desenvolvimento de novos biocompósitos para substituição de couro e polímeros de base petroquímica. Suas aplicações mais especificadas foram cabedal e sola, porém foram identificados materiais biodegradáveis para palmilhas, adesivos e acabamento. O cluster calçadista brasileiro possui arranjos produtivos em diversas localidades, mas o Nordeste apresenta arranjos de rede local com ciclo fechado para o couro caprino (como em Pernambuco), material biodegradável ao final de vida útil.

Durante o processo de desenvolvimento dos sapatos modelo oxford foi constatado que os couros caprino e bovino curtidos em tanino são mais secos no manuseio em comparado ao couro curtido em cromo. Na análise sensorial e prática dos montadores dos protótipos de calçado, o couro bovino é mais macio que o caprino, porém o couro caprino ao tato do montador pareceu ser mais “elástico” e mais “resistente” (entretanto, tais constatações foram puramente estéticas, sem qualquer relação com os resultados tênses obtidos no dinamômetro). O couro bovino apresentou rachaduras na montagem do bico na máquina, o que necessitou ajustes até a eliminação do problema. Em adição, os resultados dos testes de tração dos couros indicaram que o couro caprino é o mais resistente à tração (maiores valores de tensão na força máxima (MPa) e módulo de Young (MPa) dentre todas as amostras analisadas), o que corrobora o que se observou no desenvolvimento do calçado. A análise de microscopia apresentou diferenças de tamanho e disposição entre os poros do couro bovino e caprino.

O processo de coleta e separação dos resíduos de jeans analisados na fábrica localizada na cidade de Toritama (PE) poderia ter a sua quase totalidade de destinação para a reciclagem. O estudo possibilitou uma contribuição ao desenvolvimento de novos materiais, biocompósitos, a partir de resíduos de jeans de algodão em diferentes tipos: (i) fibras trituradas; e (ii) fibras em pó. Eles podem ser aprimorados para aplicações em calçados, principalmente por resultarem em compostos “macios” que podem ser aplicados como palmilhas e compostos “condensados” para biqueiras, contraforte e outros componentes de reforço de calçados.

Por fim, foram apresentadas perspectivas de estratégias de design circular em cada etapa do ciclo de vida do calçado para os couros curtidos em tanino e os biocompósitos desenvolvidos, podendo deste modo indicar preliminarmente quais estratégias poderiam ser empregadas para materiais biodegradáveis de base biológica na indústria calçadista.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, F. A.; FREIRE SAMPAIO, A. C. Os novos Princípios e Conceitos Inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82–102, 13 jul. 2018.

ABDI. **Relatório de Acompanhamento Setorial: Indústria de Couro**ABDI. [s.l: s.n.].

ABICALÇADOS. Relatório Setorial da Indústria de Calçados - Brasil 2019. p. 1–68, 2019.

ABICALÇADOS. **Inspiramais acontece de 25 a 27 de agosto, em edição 100% digital**. Disponível em: <<https://www.abicalcados.com.br/noticia/inspiramais-acontece-de-25-a-27-de-agosto-em-edicao-100-digital>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

ABICALÇADOS. **Relatório Setorial: Indústria de calçados do Brasil 2021**. Novo Hamburgo: [s.n.]. Disponível em: <<http://abicalcados.com.br/publicacoes/>>.

ABICALÇADOS. **Relatório Setorial: Indústria de Calçados do Brasil, 2022**. Novo Hamburgo: [s.n.].

ABIDI, N. Chemical Properties of Cotton Fiber and Chemical Modification. Em: **Cotton Fiber: Physics, Chemistry and Biology**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 95–115.

ABIDIN, N. A. Z. et al. Physical and mechanical properties of bamboo-silicone biocomposites (BaSiCs). **BioResources**, v. 17, n. 3, p. 4432–4443, 3 jun. 2022.

ALESSIO, A. et al. Algodão Orgânico na Produção Sustentável. **ModaPalavra**, 2014.

ALEXANDRESCU, L. et al. Biodegradable polymeric composite based on recycled polyurethane and rubber wastes: Material for green shoe manufacturing. **Leather and Footwear Journal**, v. 20, n. 3, p. 323–331, 2020.

AL-SABAEEL, A. et al. Effects of Waste Denim Fibre (WDF) on the physical and rheological properties of bitumen. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 527, p. 012047, 29 maio 2019.

AMUTHA, K. Environmental impacts of denim. Em: **Sustainability in Denim**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 27–48.

ANDRADE, J. E. P. DE; CORRÊA, A. R. Panorama da indústria mundial de calçados, com ênfase na América Latina. **BNDS Setorial**, n. 13, p. 95–126, 2001.

ANDRADE, R. R.; BEZERRA, F. M.; LANDIM, P. DA C. Cadeia Produtiva da Moda: Panorama e Descrição. **Projética**, v. 6, n. 2, p. 87–104, 2015.

ANNAPOORANI, S. G. Introduction to denim. Em: **Sustainability in Denim**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 1–26.

APICCAPS. O Calçado no Mundo - Panorama Estatístico 2020. p. 142, 2020.

APICCAPS. **O Calçado no Mundo - Panorama Estatístico 2021**. [s.l: s.n.].

APICCAPS. **Facts and Numbers 2021**. [s.l: s.n.].

APICCAPS. **Plano Estratégico 2030 - Cluster do Calçado**. [s.l: s.n.].

ARSUTORIA MAGAZINE. **Vietnam and footwear: opportunities and threats**. Disponível em: <<https://arsutoriamagazine.com/vietnam-footwear-opportunities-threats/>>.

ARTEZA. **Conheça os processos da pele**. Disponível em: <<https://www.lojaarteza.com.br/conheca-nossa-historia-2>>. Acesso em: 26 dez. 2022.

ASABUWA NGWABEBHOH, F. et al. Preparation and Characterization of Nonwoven Fibrous Biocomposites for Footwear Components. **Polymers**, v. 12, n. 12, p. 3016, 16 dez. 2020.

ASHTON, E. G. **Design, Inovação e Sustentabilidade: Estudo de Reciclagem de Produtos Multi-materiais Poliméricos sem Separação Prévia**. Tese—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

ASSESSORIA - PREFEITURA MUNICIPAL DE CABACEIRAS. **Veja programação completa do Festival do Couro 2019, no distrito da Ribeira de Cabaceiras**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRISO3376: couro - ensaios físicos e mecânicos - determinação da resistência à tração e percentual de extensão**. , 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRISO2418: couro - ensaios químicos, físicos e mecânicos e de solidez - local da amostragem**. , 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR10455: climatização de materiais usados na fabricação de calçados e correlatos**. , 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14188: construção superior do calçado - couraças e contrafortes - determinação da adesão ao material do cabedal**. , 2021b.

ASSUNÇÃO, G. M. DE. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. **Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 2, p. 223–231, 30 jun. 2019.

ATACADO, D. **Feiras de calçados: conheça as principais edições em 2021**. Disponível em: <<http://blog.danielatacado.com.br/feiras-de-calcados/#comments>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

AUAD, P. **Composição Química de Taninos Vegetais, Curtimento e Propriedades nos Couros**. Dissertação—Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

BARAUNA, D.; RAZERA, D. L. Sustentabilidade, desenvolvimento e Inovação no século 21: demandas para o design de materiais avançados. Em: ARRUDA, A. J. V.;

FERROLI, P. C. M.; LIBRELOTTO, L. I. (Eds.). **Design, Artefato e Sistemas Sustentáveis**. [s.l.] Blucher, 2018. p. 62–85.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento sustentável: das origens à agenda 2030**. Petrópolis: Vozes, 2020.

BARCELLOS, R. **Sistema de produção: estudo teórico sobre inserção de novas tecnologias e a evolução da indústria calçadista paraibana**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2016.

BEMERW, B. et al. Development of Papyrus Fiber Reinforced Natural Rubber Composite for Shoe Sole. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 13, p. 5344–5354, 1 dez. 2022.

BEZERRA, J. D. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. R. S. DO. A Indicação Geográfica (IG) sob o Ponto de Vista Geográfico para o Queijo de Coalho do Agreste de Pernambuco. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 70, n. 6, p. 326, 3 fev. 2015.

BOFF, L. **Sustentabilidade: O que é: O que não é**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2015.

BONADIES, I. et al. Heat Storage and Dimensional Stability of Poly(vinyl alcohol) Based Foams Containing Microencapsulated Phase Change Materials. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 54, n. 38, p. 9342–9350, 2015a.

BONADIES, I. et al. Heat Storage and Dimensional Stability of Poly(vinyl alcohol) Based Foams Containing Microencapsulated Phase Change Materials. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 54, n. 38, p. 9342–9350, 2015b.

BOZANO, S.; OLIVEIRA, R. DE. Ergonomia Do Calçado: Os Pés Pedem Conforto Ergonomics of the Shoe: the Feet Ask for Comfort. 2011.

BRANTHWAITE, H.; CHOCKALINGAM, N. Everyday footwear: An overview of what we know and what we should know on ill-fitting footwear and associated pain and pathology. **The Foot**, v. 39, p. 11–14, jun. 2019.

BRAUNGART, M. et al. **Do Berço ao Berço e a Lógica de Produzir com Foco na Reutilização**. Disponível em: <<https://www.ideiacircular.com/do-berco-ao-berco-e-a-logica-de-produzir-com-foco-na-reutilizacao/>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

BRAZ, C. E. M. **Avaliação Química da Qualidade de Couros e Efluentes de Curtume**. Tese—São Carlos-SP: Universidade Federal de São Carlos, 2019.

BRODSKY, J. W. et al. Effect of heating on the mechanical properties of insole materials. **Foot and Ankle International**, v. 33, n. 9, p. 772–778, 2012.

BÜYÜKTURAN, Ö. et al. Effects Of Using Insoles Of Different Thicknesses In Older Adults: Which Thickness Has The Best Impact On Postural Stability And Risk Of Falling? **Journal of the American Podiatric Medical Association**, n. May, p. 0000–0000, 2018.

CACHOEIRINHAPREV. **Dados Socioeconômicos de Cachoeirinha**. Disponível em: <<https://cachoeirinhaprev.pe.gov.br/institucional/conheca-a-cidade/>>. Acesso em: 3 jan. 2023.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. DE; LENZ, D. M. O Desenvolvimento de Produtos a partir de Novos Materiais: aplicação de biocompósitos no design de produtos. **Projetica**, v. 5, n. 2, p. 149–168, dez. 2014.

CAMPANHA, M. M.; HOLANDA JÚNIOR, E. V. **Sistemas Agrossilvipastoris: uma alternativa para criação de caprinos em comunidades tradicionais do sertão baiano do São Francisco**. Congresso Brasileiro de Sistemas de Produção. **Anais...**Fortaleza: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2007.

CAO, H. et al. Development and evaluation of apparel and footwear made from renewable bio-based materials. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 7, n. 1, p. 21–30, 2014.

CARVALHO, J. et al. **Development of bioplastic film for application in the footwear industry**. [s.l: s.n.]. v. 505

CESCHIN, F.; GAZIULUSOY, I. **Design for Sustainability: A Multi-level Framework from Products to Socio-technical Systems**. [s.l.] Routledge, 2019.

CHEAH, L. et al. Manufacturing-focused emissions reductions in footwear production. **Journal of Cleaner Production**, v. 44, p. 18–29, 2013.

CHROBOT, P. et al. **Measuring Fashion: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries. Study Full report and methodological considerations**. [s.l: s.n.].

CICB. **O Brasil e o Mercado Mundial do Couro**. Brasília: [s.n.].

CICB. **Luxo Exótico**. Disponível em: <<http://www.cicb.org.br/cicb/noticias/luxo-exotico>>. Acesso em: 19 dez. 2020.

CICB. **Exportações Brasileiras de Couro e Peles**. [s.l: s.n.].

CORRÊA, M. J. J. **Materiais lignocelulósicos: da era pré-história à era moderna**. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/index.php/2017/06/14/materiais-li-gnocelulosicos/>>.

DANESE, G. et al. A Novel Standard for Footwear Industrial Machineries. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 7, n. 4, p. 713–722, nov. 2011.

DAUDT, F. **Transparência e Sustentabilidade**. Disponível em: <<https://www.fashionrevolution.org/brazil-blog/transparencia-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: 5 jul. 2021.

DE AGUIAR HUGO, A.; DE NADAE, J.; DA SILVA LIMA, R. Can Fashion Be Circular? A Literature Review on Circular Economy Barriers, Drivers, and Practices in the Fashion Industry's Productive Chain. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12246, 5 nov. 2021.

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a Systematic Review. Em: **The SAGE Handbook of Organizational Research Method**. [s.l: s.n.]. p. 971–689.

DESELNICU, V. et al. Innovative materials and technologies for sustainable production in leather and footwear sector. **Leather and Footwear Journal**, v. 14, n. 3, p. 147–158, 2014a.

DESELNICU, V. et al. Innova-Leather -Innovative Technologies for Leather Sector. n. VI, p. 1–6, 2014b.

DIAS, I. M.; ALVARENGA, C. B. C. S.; SALES, R. B. C. **Denim resíduo sólido da indústria têxtil brasileira: ações sustentáveis sob o olhar do design**. Blucher Design Proceedings. **Anais...**São Paulo: Editora Blucher, maio 2018. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/28128>>

DOS SANTOS, R. M. et al. **Women's Footwear Sole for the Elderly Produced with Sustainable Material: Friction Coefficient Analysis**. [s.l: s.n.]. v. 1215 AISC

ECYCLE. **O QUE são produtos biodegradáveis? Serão os produtos biodegradáveis a solução para a questão do lixo nas cidades?** Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/4072-biodegradaveis>>. Acesso em: 3 maio. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular Economy Introduction**. Disponível em: <Ellen Macarthur Foudation>. Acesso em: 7 dez. 2022.

EMBRAPA. **Ações e Pesquisas da Embrapa Caprinos e Ovinos**. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/contando-ciencia/embrapa-caprinos-e-ovinos/-/asset\\_publisher/B8dnIH4jpAcA/content/sistema-agrossilvipastoril/1355746?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.embrapa.br%2Fcontando-ciencia%2Fembrapa-caprinos-e-ovinos%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_B8dnIH4jpAcA%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3D\\_118\\_INSTANCE\\_XYiqqipymrrx\\_\\_column-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](https://www.embrapa.br/contando-ciencia/embrapa-caprinos-e-ovinos/-/asset_publisher/B8dnIH4jpAcA/content/sistema-agrossilvipastoril/1355746?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.embrapa.br%2Fcontando-ciencia%2Fembrapa-caprinos-e-ovinos%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_B8dnIH4jpAcA%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3D_118_INSTANCE_XYiqqipymrrx__column-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2)>. Acesso em: 26 dez. 2022.

FALCÃO, L.; ARAÚJO, M. E. M. Tannins characterisation in new and historic vegetable tanned leathers fibres by spot tests. **Journal of Cultural Heritage**, v. 12, n. 2, p. 149–156, abr. 2011.

FASHIONERY. **Fashionary Shoe Design**. , 2015.

FAYOMI, O. S. I. et al. Potential of bio-wastes in the development of composites for manufacturing application. **Materials Today: Proceedings**, v. 38, p. 2353–2357, 2020.

FEAM. **Guia Técnico do Setor de Curtumes**. Belo Horizonte: [s.n.].

FECHINE, G. J. M. **Polímeros Biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial**. São Paulo: MAckenzie, 2013. v. 23

FERNANDES, I. P. et al. Biobased additives as biodegradability enhancers with application in TPU-based footwear components. **Journal of Renewable Materials**, v. 4, n. 1, p. 47–56, 2016.

FERNANDES, I. P. et al. **Development of new footwear materials within the extralight safe shoe project**. In 9th Conference Green Chemistry and Nanotechnologies in Polymeric Materials. **Anais...**Cracow, Polónia: 2018.

FILHO, G. G. **Meio Ambiente & Consumismo**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008.

FITZGERALD, A. et al. A Life Cycle Engineering Perspective on Biocomposites as a Solution for a Sustainable Recovery. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1160, 22 jan. 2021.

FLACH, M. V. et al. Recycling footwear industry waste and evaluation the deterioration in soil. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 6, p. 2178–2192, 2017.

FLETCHER, K.; GRASE, L. **Moda & Sustentabilidade, Design Para Mudança**. São Paulo: Senac, 2011.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Fibras Vegetais para Compósitos Poliméricos**. Ilhéus, BA: Editus, 2017.

FRANCIOSA, P. et al. Improving comfort of shoe sole through experiments based on CAD-FEM modeling. **Medical Engineering and Physics**, v. 35, n. 1, p. 36–46, 2013.

FRANCISCO, G. A. **Prevenção de Resíduos: Um estudo de caso na indústria calçadista brasileira**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2016.

FRANCISCO, G. A. Prevenção de resíduos: um estudo de caso na indústria calçadista brasileira. p. 120, 2017.

FRANCISCO, G. A.; DIAS, S. L. F. G. Design para a Sustentabilidade e Resíduos: Reflexões a partir da Prática na Indústria de Calçados. **7o. Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade**, p. 11, 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Cadeia produtiva de calçados e couro em Minas Gerais: uma aplicação insumo-produto. p. 1–38, 2020.

G1. **Série sobre produção de calçados mostra a produção artesanal em Cabaceiras**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/jpb-1edicao/videos/v/serie-sobre-producao-de-calcados-mostra-a-producao-artesanal-em-cabaceiras/6077214/>>. Acesso em: 26 fev. 2020.

GAIDAU, C. et al. Research on biodegradable wool on sheepskin processing and eco-labeling. **Industria Textila**, v. 67, n. 1, p. 39–45, 2016.

GAZZOLA, P. et al. Trends in the fashion industry. The perception of sustainability and circular economy: A gender/generation quantitative approach. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 7, p. 1–19, 2020.

GERVAL, O. **Fashion Accessories**. [s.l.] A&C Black, 2008.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Atlas ed. São Paulo: [s.n.]. v. 4

GNANASUNDARAM, S. et al. Preparation and Characterization of Footwear Soling Materials Based on Biodegradable Polyurethane. **Polymer - Plastics Technology and Engineering**, v. 54, n. 15, p. 1585–1595, 2015.

GOMES, D. **Produtos Carbono Neutro: um compromisso das empresas e do mercado com a responsabilidade climática**. Disponível em: <<https://blog.waycarbon.com/2021/05/produtos-carbono-neutro/>>. Acesso em: 7 dez. 2022.

GOONETILLEKE, R. S.; LUXIMON, A. Designing for Comfort: A Footwear Application. **Proceedings of the computer-aided ergonomics and safety conference**, 2001.

GOONETILLEKE, R. S.; LUXIMON, A.; TSUI, K. L. The Quality of Footwear Fit: What we know, don't know and should know. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, v. 44, n. 12, p. 2-515-2-518, 5 jul. 2000.

GOTTFRIDSSON, M.; ZHANG, Y. Environmental impacts of shoe consumption: Combining product flow analysis with an LCA model for Sweden. p. 96, 2015.

GOVERNO DO BRASIL. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/circular-no-17-de-26-de-fevereiro-de-2021-305760318>>. Acesso em: 12 jul. 2021.

GROUNDIES. **What Even are Barefoot Shoes?** Disponível em: <<https://www.groundies.com/what-even-are-barefoot-shoes/>>. Acesso em: 17 dez. 2022.

GUARIENTI, G. R. **O Cenário Calçadista Ambientalmente Orientado e as Práticas de Design que Reduzem o Impacto do Fim de Vida Útil dos Calçados**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 77, p. 1–25, out. 2015.

GWILT, A. Exploring a Framework for Fashion Design for Sustainability. Em: MUTHU, S. S. (Ed.). **Handbook of Sustainable Apparel Production**. [s.l.] CRC Press - Taylor and Francis Group, 2015. p. 456–467.

HERVA, M.; ÁLVAREZ, A.; ROCA, E. Sustainable and safe design of footwear integrating ecological footprint and risk criteria. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 3, p. 1876–1881, 2011.

HURST, B. et al. Medical-grade footwear: The impact of fit and comfort. **Journal of Foot and Ankle Research**, v. 10, n. 1, p. 1–7, 2017.

IBGE. **Cidades e Estados - Belo Jardim**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/belo-jardim.html>>. Acesso em: 2 jan. 2023.

IDEIA CIRCULAR. **O que é economia circular?** Disponível em: <<https://www.ideiacircular.com/economia-circular/>>. Acesso em: 5 jul. 2021.

IDEIA CIRCULAR. **Do Berço ao Berço e a Lógica de Produzir com Foco na Reutilização.** Disponível em: <<https://www.ideiacircular.com/>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS E TECNOLOGIAS. **Avaliação de biodegradabilidade: IPT implementa metodologia para ensaios mais rápidos e limpos de avaliação da propriedade biodegradável.** Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=809](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=809)>.

JACQUES, J. J.; GUIMARÃES, L. B. M. A study of material composition disclosure practices in green footwear products. **Work**, v. 41, n. SUPPL.1, p. 2101–2108, 2012.

JOSEPH, K.; NITHYA, N. Material flows in the life cycle of leather. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 676–682, maio 2009.

JOSEPH, S. et al. Processing and characterization of waste leather based polycaprolactone biocomposites. **Polymer Composites**, v. 38, n. 12, p. 2889–2897, 2017.

JUNIOR, B. DE O. M. J.; XIMENES, L. J. F. Produção e desempenho da indústria do couro e calçados do nordeste, norte de Minas Gerais e do Espírito Santo. n. 38, p. 1–18, 2018.

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 190–201, ago. 2018.

KANARSKI, P. S. DE O. **Extratos de Origem Vegetal em Substituição aos Produtos Químicos no Curtimento e Tingimento da pele do Pirarucu na Amazônia.** Mestrado—Rolim de Moura: Universidade Federal de Roraima, 2018.

KARA, S. et al. Closed-loop Systems to Circular Economy: A Pathway to Environmental Sustainability? **CIRP Annals**, v. 71, n. 2, p. 505–528, 2022.

KARWOWSKI, W.; JAMALDIN, B. Ergonomics and Human Factors. Em: **The Engineering Handbook**. [s.l: s.n.]. p. 2889–2897.

KINDLEIN JÚNIOR, W.; CÂNDIDO, L. H. A. Design de produto e seleção de materiais com foco nos 3R's. Em: **Cadernos de Estudos Avançados em Design - Sustentabilidade I**. Barbacena: EdUEMG, 2009. p. 85–107.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. **SSRN Electronic Journal**, 2017.

KLUGE, A. **Contribuição ao Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Couro: uma Abordagem Holística do Ecodesign Focado em Calçados Infantis.** Dissertação—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

KOHAN, L. et al. Panorama of natural fibers applied in Brazilian footwear: materials and market. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 8, 2019.

- KOHAN, L. et al. Brazilian Sustainability Outlook in Footwear Sector. Em: [s.l: s.n.]. p. 199–260.
- KOHLI, A. et al. **Design and Simulation study of fire-resistant biodegradable shoe.** Journal of Physics: Conference Series. **Anais...**2020.
- KONOVALOVA, O. B. et al. Polymer Materials for 3D Printing and the Possibility of their Use in Shoe production: range of plastics of innovative functionality. **Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti**, v. 395, n. 5, p. 262–267, 2021.
- KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37–46, jan. 2018.
- KOSZEWSKA, M. Life cycle assessment and the environmental and social labels in the textile and clothing industry. Em: **Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing**. [s.l.] Elsevier, 2015. p. 325–344.
- KOVACIC, Z. et al. Measuring circularity. **The Circular Economy in Europe**, p. 104–126, 2019.
- KUZMA, E. L. et al. Design no Método de Pesquisa em Economia Circular: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Gestão Organizacional**, v. 13, n. 3, p. 93–118, 3 ago. 2020.
- LABLACO. Year Zero: Circular Fashion Report 2020. 2020.
- LAURENTI, R. et al. Measuring the Environmental Footprint of Leather Processing Technologies. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 5, p. 1180–1187, out. 2016.
- LAURENTIA, A. et al. **Biodegradable Polymer Composite based on Recycled Polyurethane and Finished Leather Waste.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...**2019.
- LEAL, G. C. G.; FARIAS, M. S. S. DE; ARAUJO, A. F. O Processo de Industrialização e seus Impactos no Meio Ambiente Urbano. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 7, n. 1, p. 11, 2008.
- LEAL, L. DE S. G.; ROCHA, A. K. P.; DA ROCHA JUNIOR, C. J. G. **Inovação numa empresa processadora de couro caprino em Pernambuco: limites e potencialidades.** I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. **Anais...**Campina Grande - PB: 2016.
- LEE, Y. A. **Case study of renewable bacteria cellulose fiber and biopolymer composites in sustainable design practices.** [s.l: s.n.].
- LEPELAAR, M.; NACKENHORST, K.; OSKAM, I. Exploring Unique material characteristics by combining textile waste with biobased plastics. **Paper presented at EKSIG Conference 2017**, 2017.
- LIGER, I. **Modelagem de Calçados: Técnicas e Passo a Passo.** São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015.

LIRA, B. **Melhores momentos da ExpoCouroBode - Festival Nacional do Couro de Bode, em Ribeira de Cabaceiras.** Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=NTR\\_93ThWJ8&t=195s](https://www.youtube.com/watch?v=NTR_93ThWJ8&t=195s)>. Acesso em: 26 dez. 2022.

LIZUNDIA, E. et al. Nanopatterned polystyrene-b-poly(acrylic acid) surfaces to modulate cell-material interaction. **Materials Science and Engineering: C**, v. 75, p. 229–236, jun. 2017.

LOFTIS, A. R. et al. **Formation of polyurethane from bio-based materials.** Sustainable Engineering Forum: Core Programming Topic at the 2011 AIChE Annual Meeting. **Anais...**2011.

LUIKEN, A.; BOUWHUIS, G. Recovery and recycling of denim waste. Em: **Denim**. [s.l.] Elsevier, 2015. p. 527–540.

MACÊDO, R. E. **A Atividade Produtora de Artigos de Couro e Aço em Cachoeirinha-PE: classificação, condições de trabalho e dimensionamento.** Dissertação—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, mar. 2013.

MAESTRINI, V. et al. Supply chain performance measurement systems: A systematic review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 299–315, jan. 2017.

MAHMOUMGONBADI, A.; GENOVESE, A.; SGALAMBRO, A. Closed-loop supply chain design for the transition towards a circular economy: A systematic literature review of methods, applications and current gaps. **Journal of Cleaner Production**, v. 323, p. 129101, nov. 2021.

MALUF, M. L. F.; HILBIG, C. C. Curtimento Ecológico de Peles de Animais para Agregação de Valor Através da Confecção de Artesanato. **Revista Varia Scientia**, v. 9, n. 15, p. 75–79, 2010.

MANZINI, E. ; VEZZOLI, C. ; **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo: Edusp, 2002.

MASIERO, M. J. B. **Determinação de indicadores de geração de resíduos sólidos na produção de calçados femininos (sapatos, tênis, sandálias, sapatilhas e botas).** [s.l.] Universidade de Ribeirão Preto, 2018.

MCCANN, J. Consumer Behavior and Its Importance in the Sustainability of the Clothing Field. Em: MUTHU, S. S. (Ed.). **Handbook of Sustainable Apparel Production.** [s.l.] CRC Press - Taylor and Francis Group, 2015. p. 231–279.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle: Remaking the way we make things.** New York: North Point Press, 2002.

MEDKOVA, K.; FIFIELD, B. Circular Design - Design for Circular Economy. **Lahti Cleantech Annual Review 2016**, n. February, p. 32–47, 2016.

MENA, J. M. C. **Estilismo e Modelagem: Técnica do Calçado I.** Novo Hamburgo: Pallotti, 2012a.

- MENA, J. M. C. **Engenharia de Produto: Sistemas de Fabricação**. Novo Hamburgo: Pallotti, 2012b.
- MENDA, M. **Tratamento Químico de Couros e Peles**. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/couros\\_e\\_peles](http://www.crq4.org.br/couros_e_peles)>. Acesso em: 28 jan. 2020.
- MESTRE, A.; COOPER, T. Circular product design. A multiple loops life cycle design approach for the circular economy. **Design Journal**, v. 20, n. January 2018, p. S1620–S1635, 2017.
- MODEFICA; FGVCES; REGENERATE. **Fios da Moda: Perspectivas Sistêmicas para Circularidade**. São Paulo: [s.n.].
- MOESCH, R. A. **Economia Circular: um framework conceitual**. Dissertação—Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.
- MOTA, L. F. DE B.; SILVA, T. M. DE L.; JÚNIOR, J. A. DA S. Inovação social e ecodesign como estratégia e prática no design de moda. Em: **Design e Inovação Social: Ecodesign na Moda**. [s.l.: s.n.]. p. 221–238.
- MOURA, A. S. DE. **O Beneficiamento do Couro e seus Agentes na Capitania de Pernambuco**. Programa de Pós-Graduação em História—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2014.
- MOURA, M. DA S. **Upcycling: Reutilização de matéria prima, jeans, descartada na cidade de Toritama para o desenvolvimento de uma coleção de bolsas e mochilas**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
- MUKHERJEE, M. et al. Biodegradable polyurethane foam as shoe insole to reduce footwear waste: Optimization by morphological physicochemical and mechanical properties. **Applied Surface Science**, v. 499, p. 143966, jan. 2020.
- MUNDERMANN, A.; STEFANYSHYN, DARREN. J.; NIGG, B. M. Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 33, n. 11, p. 1939–1945, nov. 2001.
- MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369–380, 22 fev. 2017.
- MUSEU DO CALÇADO. **História do Calçado Desportivo**. Disponível em: <<https://museudocalcado.wordpress.com/as-raizes-do-calcado/>>.
- MUSSI, F. C. Conforto: revisão de literatura. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 30, n. 2, p. 254–266, ago. 1996.
- MUTHU, S. S. The environmental impact of footwear and footwear materials. Em: **Handbook of Footwear Design and Manufacture**. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 266–279.
- NAIME, R.; **Sapatos Biodegradáveis - Eco debate**. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2011/06/17/sapatos-biodegradaveis-a-rtigo-de-roberto-naime/>>.

NAM, C.; LEE, Y.-A. Multilayered Cellulosic Material as a Leather Alternative in the Footwear Industry. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 37, n. 1, p. 20–34, 2019.

NEUMANN, H. L.; MARTINEZ, L. M.; MARTINEZ, L. F. Sustainability efforts in the fast fashion industry: consumer perception, trust and purchase intention. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, 2020.

NEWLAST GROUP. **Shoe last machine - SDMC4**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=crujR5KbIKg>>.

NGUYEN, H. T. et al. Development of novel biocomposites based on the clean production of microbial cellulose from dairy waste (sour whey). **Journal of Applied Polymer Science**, v. 139, n. 1, p. 51433, 5 jan. 2022a.

NGUYEN, H. T. et al. Chitosan Modified by Kombucha-Derived Bacterial Cellulose: Rheological Behavior and Properties of Convened Biopolymer Films. **Polymers**, v. 14, n. 21, p. 4572, 28 out. 2022b.

NGWABEBHOH, F. A. et al. Preparation and Characterization of Nonwoven Fibrous Biocomposites for Footwear Components. **Polymers**, v. 12, n. 12, p. 3016, 16 dez. 2020.

NICULESCU, M.-D. et al. Biocomposites based on collagen and keratin with properties for agriculture and industrie applications. **The EuroBiotech Journal**, v. 3, n. 3, p. 160–166, 1 jul. 2019.

NICULESCU, O. et al. Rheological behaviour of ecologic pigment pastes for natural leather and fur finishing. **Revista de Chimie**, v. 66, n. 10, p. 1549–1553, 2015.

NIȚUICĂ, M. et al. Biodegradable polymer composite based on NBR rubber and protein waste. **Leather and Footwear Journal**, v. 21, n. 4, p. 229–236, 15 dez. 2021.

NORDESTE RURAL. **A importância da criação de caprinos e ovinos para o semiárido brasileiro**. Disponível em: <<https://nordesterural.com.br/a-importancia-da-criacao-de-caprinos-e-ovinos-para-o-semiarido-brasileiro/>>. Acesso em: 26 dez. 2022.

O'KEEFFE, L. **Sapatos: uma festa de sapatos de salto, sandálias, botas**. Edição Por ed. [s.l.] H.F. Ullmann, 2008.

OLIVEIRA, F. R. DE; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais. **Interações (Campo Grande)**, p. 1179–1193, 5 nov. 2019.

OLIVEIRA, R. B. DE. **A organização da indústria calçadista na economia do vale dos sinos: estudo de caso no município de Campo Bom (1990 - 2015)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

ORGILÉS-CALPENA, E. et al. Synthesis and characterisation of potentially biodegradable polyurethane adhesives from soybased polyols. **Polymers from Renewable Resources**, v. 5, n. 3, p. 99–114, 2014a.

ORGILÉS-CALPENA, E. et al. Biodegradable polyurethane adhesives based on polyols derived from renewable resources. **Proceedings of the Institution of Mechanical**

**Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications**, v. 228, n. 2, p. 125–136, 2014b.

PACHECO-BLANCO, B. et al. Sustainable information in shoe purchase decisions: Relevance of data based on source. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 4, p. 1–15, 2018.

PACHECO-BLANCO, B.; COLLADO-RUIZ, D.; CAPUZ-RIZO, S. Identification of impacts of stages and materials on life cycle of footwear. **Dyna**, v. 82, n. 189, p. 134–141, 2015.

PAIVA, R. M. DE M.; MORISSO, F. D. P. Uma breve revisão sobre processos de curtimentos alternativos e considerações sobre a aplicação de cálculos químicos na previsão de propriedades desses sistemas. **Revista Tecnologia e Tendências**, p. 89–96, 2009.

PALAIS DE LEAU. **How we recycle denim to make the most sustainable baby collection ever.**

PAPAGIANNIS, P. et al. Definition and evaluation of plantar mechanical comfort for the support of footwear design. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 13, n. 2, p. 162–172, 3 mar. 2016.

PEREIRA, A. F. Ecovisões sobre Ecodesign e Análise do Ciclo de Vida. Em: OLIVEIRA, A. J. DE; FRANZATO, C.; GAUDIO, C. DEL (Eds.). **Ecovisões Projetuais: Pesquisa em Design e Sustentabilidade no Brasil**. [s.l.] Blucher, 2017. p. 157–161.

PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. Ecologia Industrial, Produção e Ambiente: uma discussão sobre as abordagens de inter-conectividade produtiva. **Anais 1st International Workshop Advances in Cleaner Production**, v. 1, 2007.

PERIYASAMY, A. P.; MILITKY, J. Denim and consumers' phase of life cycle. Em: **Sustainability in Denim**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 257–282.

QUARESMA, D. M. DE M.; MOURA, H. T. DE. Design para a sustentabilidade ampla de sistemas produto-serviço: estudo de caso de empresa de design de acessórios de moda em couro. **Estudos em Design**, v. 24, n. 2, p. 26, 2016.

RASMUSSEN, N. G. “Clothes” The Loop: Raising Awareness of Sustainable Fashion Among Millennial Consumers Through Digital Platforms. **The Boller Review**, v. 5, 2020.

REI DO AMENDOIM. **Feira de Couro e Aço em Cachoeirinha/PE: tudo para seu cavalo na melhor feira.** BrasilYoutube, , 12 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=NUcZNNMkWJg>>. Acesso em: 2 jan. 2023

REI DO AMENDOIM. **Feira de Bode em Belo Jardim - PE.** BrasilYoutube, , 5 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=hr2iz6P6ips>>. Acesso em: 2 jan. 2023

REY, S. et al. O couro: contribuição na caprinocultura sustentável. **Archivos de Zootecnia**, v. 56, n. 1, p. 731–736, 2007.

RIBA, M. T. L.; MIRÓ, E. P. **O couro: As técnicas para a criar objetos de couro explicadas com rigor e clareza**. Lisboa: Estampa, 2007.

RIBEIRO, R. **As funções estética e simbólica, como primeiro contato entre o emotional design e a moda**. Colóquio de Moda. **Anais...**Belo Horizonte: 2007.

RIBUL, M. et al. Mechanical, chemical, biological: Moving towards closed-loop bio-based recycling in a circular economy of sustainable textiles. **Journal of Cleaner Production**, v. 326, p. 129325, dez. 2021.

ROBINSON, L. C. ; **Estudo sobre o nível de evolução da indústria calçadista para o desenvolvimento de calçados ecológicos**. [s.l.] Universitário Feevale, 2009.

SABINO, M. **Dicionário da Moda**. [s.l.] Elsevier, 2007.

SALA, S. M. F. et al. Ergonomia Física Aplicada: o caso do calçado de salto alto. **Human Factors in Design**, v. 2, n. 3, p. 37–55, 2013.

SANTOS, S. S. DOS. **Design e tecnologia: estudo da aplicação do processo de corte e gravação a laser em couro bovino acabado e semi-acabado**. Dissertação—Porto Alegre: UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

SATYANARAYANA, G. Biodegradable polymer composites based on Brazilian lignocellulosic. **Revista Matéria**, v. 15, n. 2, p. 88–95, 2010.

SATYANARAYANA, K. G.; ARIZAGA, G. G. C.; WYPYCH, F. Biodegradable Composites Based on Lignocellulosic Fibers - An overview. **Progress in Polymer Science**, v. 34, n. 9, p. 982–1021, set. 2009.

SCHERER, F. L.; GOMES, C. M.; CRESPIAM, C. C. Práticas De Gestão Socioambiental Adotadas Por Empresas Brasileiras Exportadoras De Calçados. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 01, n. 02, p. 93–114, 2009.

SCHROTT, W.; PAUL, R. Environmental impacts of denim manufacture. Em: **Denim**. [s.l.] Elsevier, 2015. p. 563–580.

SCOTT, A. Delivering on spider silk's promise. **Chemical & Engeneering News**, 20 fev. 2017.

SEBRAE. **O Mercado de Curtume do Couro de Peixe**. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/o-mercado-de-curtume-do-couro-de-peixe/>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

SEBRAE. **Estudo Econômico das Indústrias de Confeções de Toritama/PE**. Recife, Brazil: [s.n.].

SENAI-SP. **Design e economia circular**. [s.l.] Editora SENAI-SP, 2020.

SENTHIL, R. et al. Leather Insole with Acupressure Effect: New Perspectives. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 1, p. 175–182, 12 jan. 2018.

SEVERO, E. A.; CRUZ, M. R. DA; OLEA, P. M. Crise do Setor Calçadista: O Desafio da Schuler Calçados. **Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração**, p. 1–12, 2010.

SHACKEL, B.; CHIDSEY, K. D.; SHIPLEY, P. The Assessment of Chair Comfort. **Ergonomics**, v. 12, n. 2, p. 269–306, mar. 1969.

SHANMUGAM, V. et al. Circular Economy in Biocomposite Development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. **Composites Part C: Open Access**, v. 5, p. 100138, jul. 2021.

SHIH, W. Y. C.; AGRAFIOLIS, K. Sustainability in Clothing Manufacturing and Competitiveness: Is It a New Mind-Set or a Paradox? Em: MUTHU, S. S. (Ed.). **Handbook of Sustainable Apparel Production**. [s.l.] CRC Press - Taylor and Francis Group, 2015. p. 51–76.

SILVA, A. H.; MORAES, C. A. M.; MODOLO, R. C. E. **Avaliação ambiental do setor calçadista e a aplicação da análise de ciclo de vida : uma abordagem geral**. Forum Internacional de resíduos sólidos. **Anais...**São José dos Campos: Instituto Ventura, 2015.

SILVA, M. C. DA. **Polímeros Biodegradáveis: tipos, propriedades e aplicações**. Tecnólogo—Rio de Janeiro: Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, 2013.

SILVERMAN, J.; CAO, H.; COBB, K. Development of Mushroom Mycelium Composites for Footwear Products. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 38, n. 2, p. 119–133, 2020.

SILVESTRIN, L. E.; TRICHES, D. A análise do setor calçadista brasileiro e os reflexos das importações chinesas no período de 1994 a 2004. 2007.

SIMÕES, C. L.; VIANA, J. C.; CUNHA, A. M. Mechanical properties of poly( $\epsilon$ -caprolactone) and poly(lactic acid) blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 112, n. 1, p. 345–352, 5 abr. 2009.

SINGARAJ, S. P. et al. Investigations on Structural, Mechanical and Thermal Properties of Banana Fabrics for Use in Leather Goods Application. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 11, p. 1618–1628, 2 nov. 2021.

SLAPER, T. F.; HALL, T. J. The triple bottom line: What is it and how does it work. **Indiana business review**, v. 86, n. 1, p. 4–8, 2011.

SONNEMANN, G. et al. **Life cycle management**. [s.l.: s.n.].

STAIKOS, T. et al. End-of-life management of shoes and the role of biodegradable materials. **Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**, p. 497–502, 2006.

SUNDAR, V. J.; MURALIDHARAN, C. Salinity free high tannin fixation vegetable tanning: Commercial success through new approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2556–2561, 2017.

SUSTAINABLE APPAREL COALITION. **The Higg Index**. Disponível em: <<https://apparelcoalition.org/>>. Acesso em: 29 dez. 2022.

TAKAYAMA, K. et al. Non-Woven Infection Prevention Fabrics Coated with Biobased Cranberry Extracts Inactivate Enveloped Viruses Such as SARS-CoV-2 and Multidrug-Resistant Bacteria. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 23, p. 12719, 24 nov. 2021.

TATÀNO, F. et al. Shoe manufacturing wastes: Characterisation of properties and recovery options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 66–75, 2012.

TEMMINK, R.; BAGHAEI, B.; SKRIFVARS, M. Development of biocomposites from denim waste and thermoset bio-resins for structural applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 106, p. 59–69, mar. 2018.

TEXTILES INTELLIGENCE. **Product developments and innovations in textiles and apparel** *Performance Apparel Markets*. [s.l.: s.n.].

TEXTILES INTELLIGENCE. **Product developments and innovations**. [s.l.: s.n.].

TEXTILES INTELLIGENCE. **Denim: Product Developments and Innovations**. [s.l.: s.n.].

TEXTILES INTELLIGENCE. **Sustainable product developments and innovations** *Textile Outlook International*. [s.l.: s.n.].

THANGAVELU, K.; SUBRAMANI, K. B. Sustainable Biopolymer Fibers—Production, Properties and Applications. Em: [s.l.: s.n.]. p. 109–140.

TOMASSINI, R. DE A. S. **A indústria calçadista**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

TYRRELL, W. Footwear assessment Chapter 9. Musculoskeletal Key - Fastest Musculoskeletal Insight Engine. 2016.

VADICHERLA, T.; SARAVANAN, D. Eco-Design/Sustainable Design of Textile Product. Em: MUTHU, S. S. (Ed.). **Handbook of Sustainable Apparel Production**. [s.l.] CRC Press - Taylor and Francis Group, 2015. p. 475–499.

VAN RENSBURG, M. L.; NKOMO, S. L.; MKHIZE, N. M. Life cycle and End-of-Life management options in the footwear industry: A review. **Waste Management and Research**, v. 38, n. 6, p. 599–613, 2020.

VASS, L.; MOLNÁR, M. **Handmade Shoes for Men**. [s.l.] H.F. Ullmann, 2006.

VIANA, F. L. E.; ROCHA, R. E. V. **A indústria de Calçados no Nordeste: Características, Desafios e Oportunidades**. Série de D ed. [s.l.] Fortaleza - Branco do Nordeste do Brasil, 2006. v. 4

VILAPLANA, F.; STRÖMBERG, E.; KARLSSON, S. Environmental and resource aspects of sustainable biocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 95, n. 11, p. 2147–2161, nov. 2010.

WASTLING, T.; CHARNLEY, F.; MORENO, M. Design for circular behaviour: Considering users in a circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 6, 2018.

WITANA, C. P.; FENG, J.; GOONETILLEKE, R. S. Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. **Ergonomics**, v. 47, n. 12, p. 1301–1317, 10 out. 2004.

WORLD FOOTWEAR. **Business Conditions Survey - 1st Semester 2022**. [s.l: s.n.].

XIMENES, L. J. F.; CUNHA, A. M. DA. Setor de Peles e de Couros de Caprinos e de Ovinos no Nordeste. **Banco do Nordeste do Brasil**, v. 4, n. 1, mar. 2012.

YICK, K.; YU, A.; LI, P. Insights into footwear preferences and insole design to improve thermal environment of footwear. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 12, n. 3, p. 325–334, 2 set. 2019.

YILMAZ, B.; KARAVANA, H. A. Application of chitosan-encapsulated orange oil onto footwear insock leathers spray drying technique for an environmentally sustainable antibacterial formulation. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 64, n. 4, p. 443–451, 2020.

ZHANG, H. et al. Toward high-performance poly(l -lactide) fibers via tailoring crystallization with the aid of fibrillar nucleating agent. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 4, n. 7, p. 3939–3947, 2016.

ZONATTI, W. F. **Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 3 maio 2016.

ZUIM, V. A. DE S. et al. As Transformações do Couro no Trabalho de Espedito Seleiro como Alternativa de Superação para as Adversidades do Sertão. **Revista Labor**, v. 1, n. 11, p. 58–72, 2014.

## 10. APÊNDICES

### Apêndice 1 - Entrevista em Fábrica de Jeans

Qual o volume de produção mensal?

Qual o volume de resíduos de tecidos coletados pela empresa terceirizada de reciclagem?

Qual o volume de tecidos descartados em lixo comum?

Quais tipos de peças são confeccionadas?

Como é feita a separação dos resíduos?

Qual a quantidade de resíduos provenientes da costura?

Qual a quantidade de jeans com e sem elastano?

Qual o volume de tecidos empregados na produção?

A linha de produção mistura jeans com e sem elastano? É possível coletar os resíduos de forma separada?

Qual a quantidade de elastano no jeans com elastano?

**Apêndice 2 - Entrevista na visita técnica da feira de couros de Cachoeirinhas-PE**

Qual a localização da feira?

Qual o seu porte?

O que vende?

Quantos vendedores ambulantes vendem couro de bode?

Os vendedores de couro da feira só vendem couro de bode?

Todos os couros são curtidos em tanino? Tem mais algum outro couro curtido em tanino além do de bode?

De onde vem o couro de bode vendido?

Qual o volume de venda semanal ou mensal do couro de bode?

Os vendedores são quem fazem o curtimento ou eles são intermediários?

Onde o couro é curtido?

Que tipo de tanino é usado?

De onde vem a pele do bode para poder curtir?

Existe um matadouro de bode ou as peles vêm de outra fonte?

Qual o valor médio das peles de bode curtidas? E saindo do matadouro, quanto custa?

Tem mais alguma região próxima que vende ou fornece as peles?

Tem alguma intervenção da prefeitura, como fiscalização dos curtumes ou pagamento de taxa?

**Apêndice 3** - Entrevista na visita técnica do curtume de couro caprino em Belo Jardim-PE

Quanto tempo o curtume está ativo?

Qual o volume mensal?

Quais as etapas do processo?

Quais produtos são utilizados?

Quais os tipos de resíduos gerados? Qual a sua destinação?

Tem tratamento para a água?

Tem alguma intervenção da prefeitura?

Qual a destinação dos couros curtidos? Só trabalha com couro caprino? Por que?

Quantas pessoas trabalham no processo?

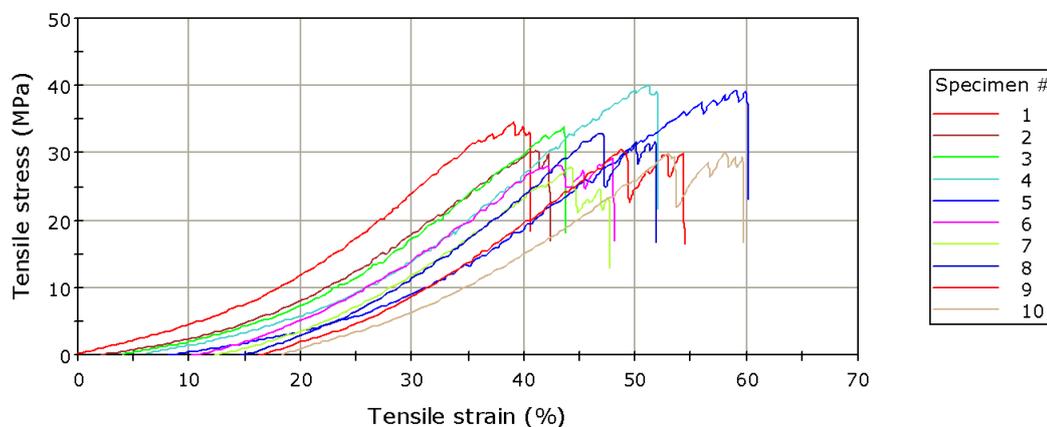
Existem outros curtumes na região? Quantos?

Existe alguma cooperativa de curtumes na região?

Conhece outros curtumes na região? Quantos? Onde?

**Apêndice 4** - Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração do couro caprino curtido em tanino. Os valores 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal

Specimen 1 to 10



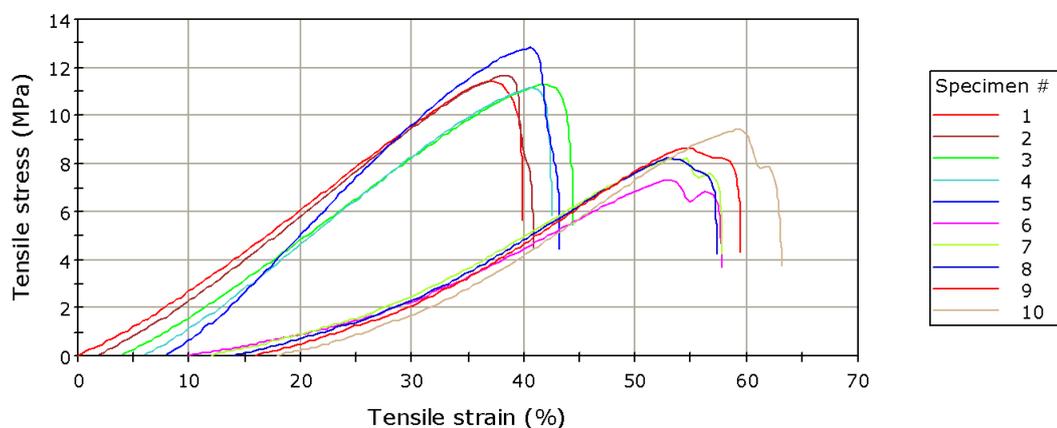
	Thickness (mm)	Maximum Load (N)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)
1	1.00	345.00	330.75	34.50
2	0.93	282.92	276.88	30.42
3	0.89	300.66	300.66	33.78
4	0.87	349.43	338.70	40.16
5	0.86	338.37	335.27	39.35
6	0.86	251.10	251.10	29.20
7	0.86	240.67	200.07	27.99
8	0.80	263.10	253.17	32.89
9	0.79	241.42	236.78	30.56
10	0.76	228.77	222.61	30.10
Mean	0.86	284.14	274.60	32.89
Standard Deviation	0.07	46.54	49.81	4.15
Coefficient of Variation	8.11	16.38	18.14	12.61

	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile extension at Maximum Load (mm)	Tensile extension at Break (Standard) (mm)	Tensile strain at Maximum Load (%)
1	33.07	17.62	18.23	39.15
2	29.77	17.56	18.13	39.02
3	33.78	17.83	17.83	39.62
4	38.93	20.29	20.66	45.09
5	38.99	22.89	23.31	50.86
6	29.20	17.01	17.01	37.79
7	23.26	14.42	15.92	32.04
8	31.65	14.78	16.91	32.85
9	29.97	14.65	17.11	32.56
10	29.29	17.94	18.62	39.87
Mean	31.79	17.50	18.37	38.88
Standard Deviation	4.73	2.63	2.15	5.85
Coefficient of Variation	14.88	15.05	11.71	15.05

	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	40.51	140.666
2	40.30	115.645
3	39.62	128.867
4	45.91	139.936
5	51.80	119.381
6	37.79	122.638
7	35.38	122.031
8	37.58	137.392
9	38.02	126.938
10	41.39	116.330
Mean	40.83	126.982
Standard Deviation	4.78	9.488
Coefficient of Variation	11.71	7.472

**Apêndice 5** - Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração do couro bovino curtido em tanino. Os valores 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal

Specimen 1 to 10



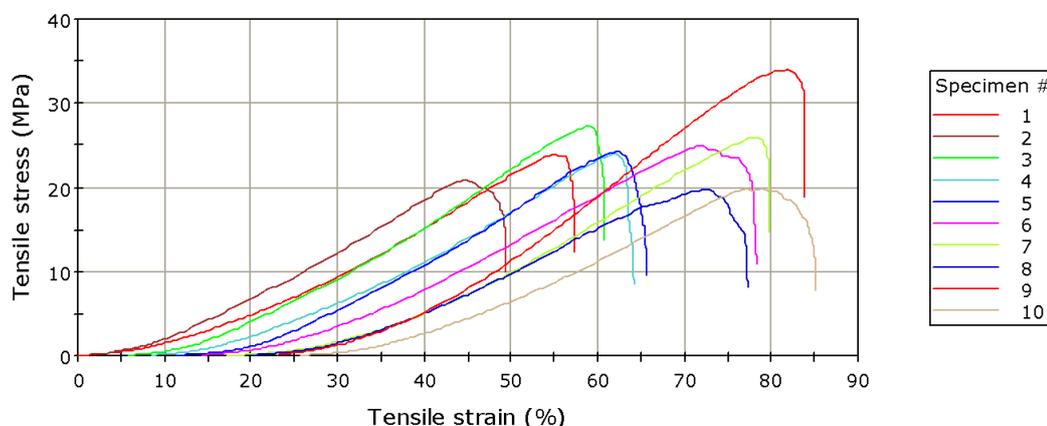
	Thickness (mm)	Maximum Load (N)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)
1	1.05	120.07	100.68	11.43
2	0.93	108.48	68.23	11.66
3	1.07	120.93	98.75	11.30
4	1.09	121.16	106.49	11.12
5	1.13	144.59	86.30	12.80
6	1.11	81.33	68.96	7.33
7	1.09	89.41	76.33	8.20
8	1.09	89.34	76.04	8.20
9	1.07	92.47	78.54	8.64
10	1.09	102.42	69.86	9.40
Mean	1.07	107.02	83.02	10.01
Standard Deviation	0.05	19.70	14.24	1.87
Coefficient of Variation	5.09	18.41	17.15	18.67

	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile extension at Maximum Load (mm)	Tensile extension at Break (Standard) (mm)	Tensile strain at Maximum Load (%)
1	9.59	16.67	17.83	37.04
2	7.34	16.50	17.41	36.67
3	9.23	17.00	18.05	37.78
4	9.77	15.50	16.30	34.44
5	7.64	14.67	15.73	32.59
6	6.21	19.50	21.37	43.33
7	7.00	19.17	20.51	42.59
8	6.98	17.67	19.39	39.26
9	7.34	17.50	19.43	38.89
10	6.41	18.67	20.20	41.48
Mean	7.75	17.28	18.62	38.41
Standard Deviation	1.30	1.55	1.86	3.45
Coefficient of Variation	16.83	8.98	9.96	8.98

	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	39.63	35.701
2	38.69	37.120
3	40.11	34.208
4	36.23	37.142
5	34.95	47.967
6	47.48	24.972
7	45.57	27.435
8	43.08	28.825
9	43.18	30.735
10	44.88	31.136
Mean	41.38	33.524
Standard Deviation	4.12	6.546
Coefficient of Variation	9.96	19.525

**Apêndice 6** - Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração do couro bovino curtido em cromo. Os valores 1 a 5 representam os testes realizados no sentido longitudinal e as 6 a 10, no sentido transversal

Specimen 1 to 10

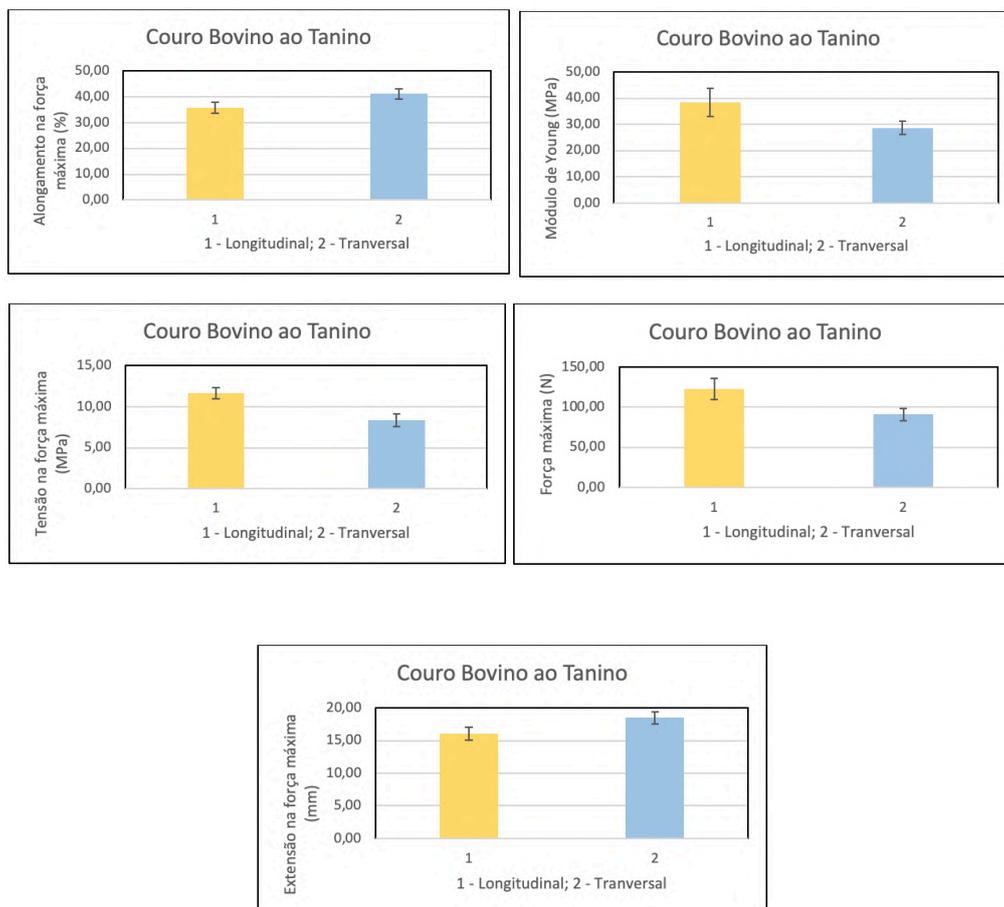


	Thickness (mm)	Maximum Load (N)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)
1	1.03	245.42	212.93	23.83
2	1.10	229.55	185.91	20.87
3	1.10	299.45	253.01	27.22
4	1.02	244.88	145.37	24.01
5	1.07	260.83	174.69	24.38
6	1.06	263.74	195.18	24.88
7	1.10	285.29	270.94	25.94
8	1.05	207.47	148.66	19.76
9	0.99	335.91	320.44	33.93
10	1.06	211.29	140.86	19.93
Mean	1.06	258.38	204.80	24.47
Standard Deviation	0.04	40.07	59.88	4.16
Coefficient of Variation	3.50	15.51	29.24	17.00

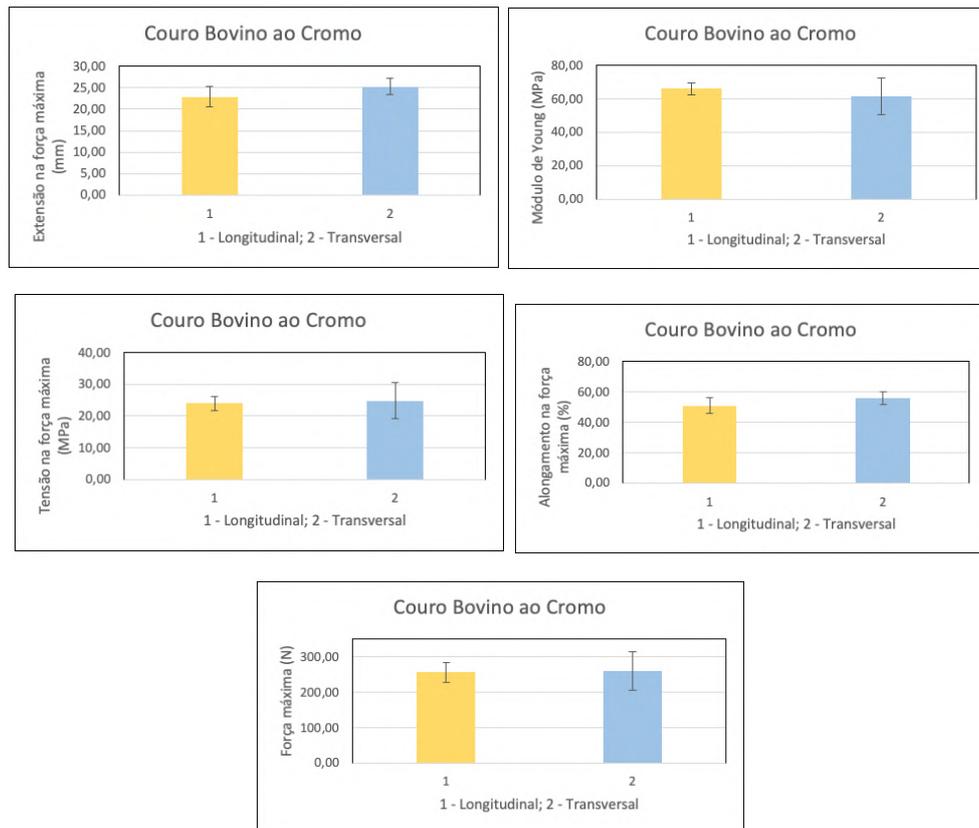
	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile extension at Maximum Load (mm)	Tensile extension at Break (Standard) (mm)	Tensile strain at Maximum Load (%)
1	20.67	24.83	25.65	55.19
2	16.90	18.88	20.79	41.96
3	23.00	23.85	24.63	53.00
4	14.25	24.00	24.85	53.33
5	16.33	22.93	24.17	50.95
6	18.41	25.67	28.63	57.04
7	24.63	27.46	28.01	61.02
8	14.16	23.50	25.62	52.22
9	32.37	26.53	27.26	58.95
10	13.29	23.17	26.56	51.48
Mean	19.40	24.08	25.62	53.51
Standard Deviation	5.95	2.36	2.25	5.24
Coefficient of Variation	30.64	9.79	8.77	9.79

	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	57.01	63.654
2	46.19	63.071
3	54.73	71.010
4	55.22	63.200
5	53.70	69.039
6	63.63	57.410
7	62.24	62.217
8	56.93	53.557
9	60.58	80.337
10	59.02	54.909
Mean	56.93	63.840
Standard Deviation	4.99	8.035
Coefficient of Variation	8.77	12.587

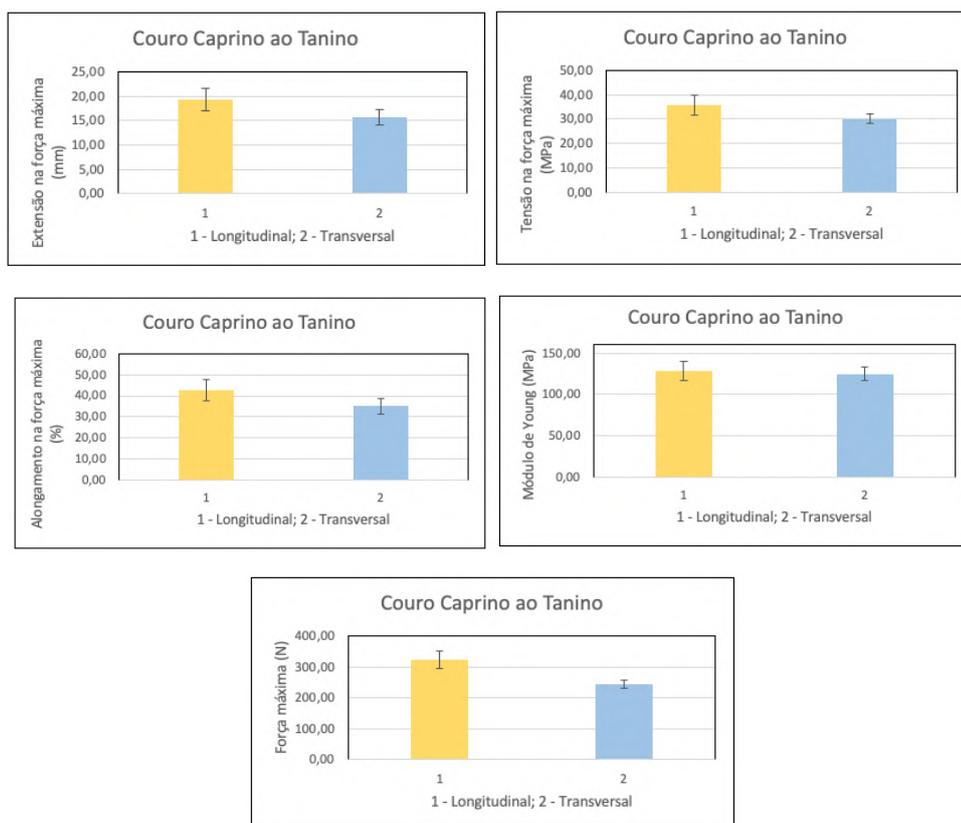
**Apêndice 7** – Análise gráfica dos valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos couros caprino e bovino curtidos em tanino e couro bovino curtido ao cromo



Para o couro bovino curtido ao tanino, observa-se que há diferença significativa entre as médias dos resultados dos testes realizados no sentido longitudinal e transversal de força máxima, tensão, extensão e alongamento na força máxima, e módulo de Young. As médias são significativamente maiores no sentido longitudinal para força máxima, tensão na força máxima e módulo de Young. Por outro lado, as médias são significativamente maiores no sentido transversal para extensão e alongamento na força máxima.



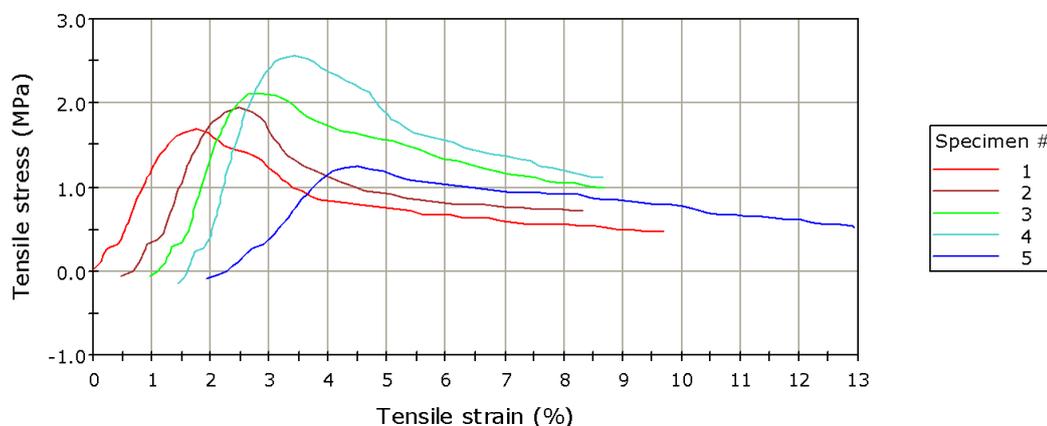
Para o couro curtido ao cromo, observa-se que não há diferença significativa entre as médias dos resultados dos testes realizados no sentido longitudinal e transversal de força máxima, tensão, extensão e alongamento na força máxima, e módulo de Young.



Para o couro caprino, observa-se que não há diferença significativa entre as médias dos resultados dos testes realizados no sentido longitudinal e transversal de tensão, extensão e alongamento na força máxima, e módulo de Young. Observa-se que há diferença entre as médias de força máxima para os resultados no sentido longitudinal e transversal.

**Apêndice 8** – Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos materiais biocompósitos originados do resíduo de jeans desfibrado

Specimen 1 to 5



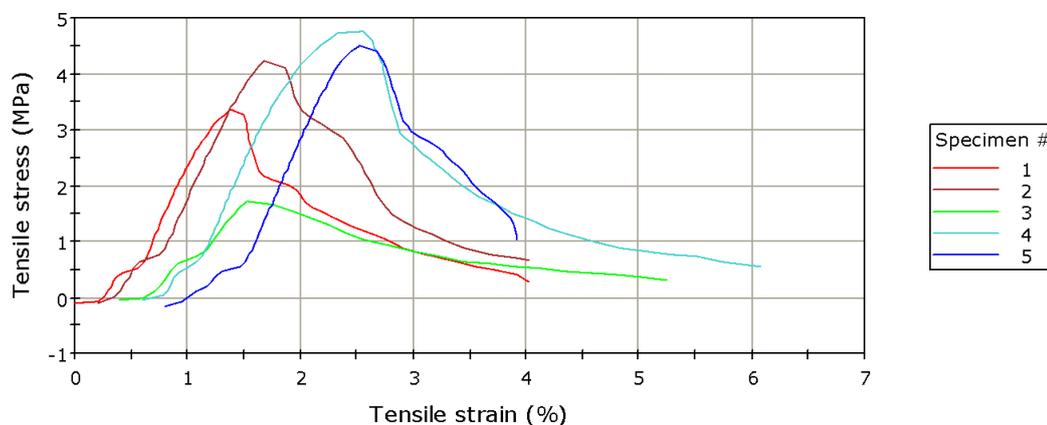
	Thickness (mm)	Maximum Load (N)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)
1	2.06	87.24	24.68	1.69
2	1.60	77.46	28.81	1.94
3	1.74	91.88	42.92	2.11
4	2.00	128.55	55.95	2.57
5	1.94	60.40	25.37	1.25
Mean	1.87	89.11	35.55	1.91
Standard Deviation	0.19	25.13	13.58	0.49
Coefficient of Variation	10.29	28.21	38.21	25.72

	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Extension at Maximum Load (mm)	Extension at Break (Standard) (mm)	Tensile strain at Maximum Load (%)
1	0.48	1.32	7.22	1.76
2	0.72	1.49	5.87	1.99
3	0.99	1.43	5.74	1.91
4	1.12	1.47	5.27	1.96
5	0.52	1.92	8.23	2.56
Mean	0.77	1.53	6.47	2.04
Standard Deviation	0.28	0.23	1.22	0.30
Coefficient of Variation	36.75	14.94	18.88	14.94

	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	9.63	158.681
2	7.83	189.905
3	7.66	223.394
4	7.03	255.101
5	10.97	86.588
Mean	8.62	182.734
Standard Deviation	1.63	64.74
Coefficient of Variation	18.88	35.43

**Apêndice 9** – Valores de força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), extensão na força máxima (mm), alongamento na força máxima (%), e módulo de Young (MPa) para os ensaios de tração dos materiais biocompósitos originados do resíduo de jeans em pó

Specimen 1 to 5



	Thickness (mm)	Maximum Load (N)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)
1	1.27	106.73	12.83	3.36
2	0.85	90.05	14.84	4.24
3	0.84	36.16	6.85	1.72
4	1.10	130.91	16.15	4.76
5	1.15	129.18	48.73	4.49
Mean	1.04	98.61	19.88	3.71
Standard Deviation	0.19	38.79	16.51	1.23
Coefficient of Variation	18.25	39.33	83.07	33.16

	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Extension at Maximum Load (mm)	Extension at Break (Standard) (mm)	Tensile strain at Maximum Load (%)
1	0.40	1.04	2.94	1.39
2	0.70	1.11	2.78	1.48
3	0.33	0.84	3.62	1.12
4	0.59	1.47	4.02	1.96
5	1.69	1.30	2.19	1.73
Mean	0.74	1.15	3.11	1.54
Standard Deviation	0.55	0.24	0.72	0.32
Coefficient of Variation	74.43	20.81	23.06	20.81

	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	3.92	474.631
2	3.71	456.430
3	4.82	250.494
4	5.36	464.498
5	2.92	462.477
Mean	4.15	421.706
Standard Deviation	0.96	95.93
Coefficient of Variation	23.06	22.75