



Gabriel Ferreira de Souza

**PROPOSTA DE CALÇADO MODULAR PRODUZIDO
COM TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D**

Projeto de Conclusão de Curso submetido
ao Curso de Design da Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito parcial
para a obtenção do Grau de Bacharel em
Design

Orientadora: Profa. Dra. Rochelle Cristina
dos Santos

Florianópolis
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Souza, Gabriel Ferreira de PROPOSTA DE CALÇADO MODULAR PRODUZIDO COM TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D / Gabriel Ferreira de Souza ; orientadora, Rochelle Cristina dos Santos, 2024. 319 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão, Graduação em Design, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Design. 2. Calçados. 3. Impressão 3D.
4. Ergonomia. 5. Sustentabilidade. I. Santos, Rochelle Cristina dos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Design. III. Título.

Gabriel Ferreira de Souza

PROPOSTA DE CALÇADO MODULAR PRODUZIDO POR FABRICAÇÃO DIGITAL

Este Projeto de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de "Bacharel em Design", e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Design.

Florianópolis, 07 de Agosto de 2024.

Profa. Dra. Marília Matos Gonçalves
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Rochelle Cristina dos Santos
Orientadora

Prof. Dr. Ivan Luiz de Medeiros
Avaliador

Profa. Dra. Josiane Wanderline Vieira
Avaliadora

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar meus pais que me acompanharam durante toda a minha vida e graduação, fornecendo todo o suporte para o meu desenvolvimento e a conclusão deste Projeto de Conclusão de Curso.

Agradeço aos professores do departamento de Design e Expressão Gráfica, em especial os dos cursos de Design e Design de Produto da UFSC. Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Rochelle Cristina dos Santos por toda a orientação, motivação e diligência durante a realização do projeto; à Profa. Dra. Josiane Wanderline Vieira; também aos Profs. Drs.: Ivan Luiz de Medeiros, Luciano Patrício Souza de Castro, Marília Matos Gonçalves e Regiane Trevisan Pupo.

Agradeço a todos os amigos pelas experiências compartilhadas, também aos colegas da Universidade. Ao laboratório Pronto 3D da UFSC por viabilizar o auxílio dos monitores/bolsistas Artur e Nicolas; e as ferramentas para a materialização deste projeto.

RESUMO

Os calçados acompanham a humanidade desde muito antes do período industrial, onde os meios materiais e produtivos passaram a priorizar a produção em massa, em detrimento da ergonomia e sustentabilidade. A busca por novas perspectivas de produção e consumo justifica-se à medida que os impactos ambientais causados por eles se tornam mais evidentes, e a busca por produtos sustentáveis e customizados cresce entre os usuários. Este projeto propõe um modelo de calçado modular produzido com a tecnologia de impressão 3D, onde seja possível substituir seus módulos de acordo com a necessidade, funcional ou estética, visando reduzir os impactos causados pela produção e descarte desses produtos, bem como uma possibilidade de customização deste por parte do usuário. A metodologia utilizada consiste na união entre duas metodologias projetuais: *Double Diamond*, desenvolvida por The Design Council (2003), e a Metodologia Experimental para design industrial proposta por Bonsiepe (1984), onde os sete passos desta foram inseridos nas quatro etapas daquela. Como resultado concebeu-se um modelo tridimensional, físico e digital, de um calçado com modular composto de seis módulos (Palmilha, Cabedal, Fita de união, Solado, Ajuste e Cadarço) totalmente fabricados através de manufatura aditiva por deposição de camadas (impressão 3D - *FDM*). O produto demonstrou potencial para a resolução dos problemas propostos, apesar da necessidade de otimização do protótipo e os respectivos testes para a consolidação da ideia. A partir dos resultados conclui-se que a impressão 3D, aliada ao design, pode exercer grande influência sobre as questões ergonômicas e sustentáveis da indústria calçadista, pois, apesar das limitações quanto aos materiais e a produtividade, uma estratégia adequada pode viabilizar um ciclo de vida mais adequado aos calçados consumidos, da produção ao descarte.

Palavras-chave: calçados. ergonomia. sustentabilidade. modularidade. Impressão 3D.

ABSTRACT

Footwear has been with humanity since long before the industrial period, where material and productive means began to prioritize mass production, in detriment of ergonomics and sustainability. The seek for new production and consumption perspectives is justified as the environmental impacts caused by them become more evident, and the seek for sustainable and customized products grows among the customers. This project proposes a modular footwear model produced with 3D printing technology, where it is possible to replace its modules according to the need, functional or aesthetic, aiming to reduce the impacts caused by the production and disposal of these products, as well as the possibility of customization of this by the user. The methodology used consists of the union between two design methodologies: Double Diamond, developed by The Design Council (2019), and the Experimental Methodology for industrial design proposed by Bonsiepe (1984), where the seven steps of the latter were inserted into the four stages of the former. As result, a three-dimensional (physical and digital) model of a shoe with Bus modularity was designed, consisting of six modules (Insole, Upper, Bonding tape, Sole, Adjustment and Lace) completely manufactured through additive manufacturing by fused deposition modeling. (3D printing - FDM). The product demonstrated potential for solving the proposed problems, despite the need to optimize the prototype and the respective tests to consolidate the idea. From the results it is concluded that 3D printing, combined with design, can have a great influence on ergonomic and sustainable issues in the footwear industry, despite its limitations regarding materials and productivity, an appropriate strategy can enable a more proper life cycle to the shoes consumed, from production to disposal.

Keywords: Footwear. Ergonomy. Sustainability. Modular. 3D Print.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação visual traduzida da metodologia projetual Double Diamond.....	25
Figura 2: Metodologia deste PCC.....	28
Figura 3: Sistemas músculo-esquelético e tegumentar do pé humano.....	33
Figura 4: Direções e planos anatômicos da região dos pés.....	34
Figura 5: Ossos do pé: visão superior e medial.....	36
Figura 6: Articulação talocrural e metatarsofalangeanas.....	37
Figura 7: Músculos do tornozelo e pé.....	39
Figura 8: Classificação dos pés quanto ao formato dos dedos.....	41
Figura 9: Arcos plantares e Classificação dos pés quanto a elevação do arco plantar longitudinal medial.....	43
Figura 10: Deformações e alterações nos dedos.....	44
Figura 11: Movimentos do Tornozelo.....	48
Figura 12: Movimentos dos Dedos.....	50
Figura 13: Fases da marcha e pontos de distribuição plantar.....	52
Figura 14: Diferentes sistemas de medidas para um mesmo tamanho.....	57
Figura 15: Utilização da fita métrica para obtenção das medidas do pé.....	61
Figura 16: Métodos 2D para obtenção das medidas dos pés. a) Plantígrafo; b) Baropodômetro; c. Fotografias sobre papel milimetrado.....	62
Figura 17: Métodos 3D para obtenção das medidas dos pés. a) Personagem de pelúcia digitalizado por fotogrametria digital de curta distância; b) Escaneamento de cômodo residencial com sensor LiDAR de smartphone; c. Scanner UPOD-S e seu software.....	64
Figura 18: Anatomia e características das Formas.....	67
Figura 19: Identificação das medidas e valores de progressão.....	72
Figura 20: Desenho geométrico de perfil de forma.....	74
Figura 21: Desenho geométrico de palmilha de Forma.....	75
Figura 22: Perímetro e largura dos tornozelos.....	78
Figura 23: Página inicial do site 3DShoemaker.....	80
Figura 24: Página inicial do site Shoemaster® by ATOM na aba “Engineer”.....	81
Figura 25: Softwares de Formas desenvolvidos pela empresa Lutracad™.....	82
Figura 26: Página inicial do site do sistema on-line de modelagem 3D Smart 3D Works.....	83
Figura 27: Imagens do software EasyLast 3D - NewLast Group.....	84
Figura 28: Evolução dos calçados.....	86
Figura 29: Estrutura básica do calçado.....	88
Figura 30: Termos da construção inferior do calçado.....	90
Figura 31: Métodos de montagem.....	94
Figura 32: Marcações.....	96
Figura 33: Estilos de Calçados.....	98

Figura 34: Linhas preliminares de modelagem.....	100
Figura 35: Linhas básicas de modelagem.....	104
Figura 36: Calçado Vans Dots Old Skool Tapered Mesh DX Modular.....	107
Figura 37: Calçado Think.....	108
Figura 38: Calçado Urshuz.....	109
Figura 39: Calçado Muvez.....	110
Figura 40: Calçado Lyf 3D.....	111
Figura 41: Calçado Nike Zvezdochka by Marc Newson.....	112
Figura 42: Calçado de Bruno Truong.....	113
Figura 43: Calçado Nike ISPA Link.....	114
Figura 44: Calçado KI ecobe.....	115
Figura 45: Calçado Repair it Yourself by Eugenia Morpurgo.....	116
Figura 46: Calçado UP-part.....	117
Figura 47: Calçado Modular de Alexander Reed.....	118
Figura 48: Calçado Mine Paws.....	119
Figura 49: Calçado modular Shooz.....	120
Figura 50: Calçado conceito de Luis Augusto K. Bugin.....	121
Figura 51: Têxteis na indústria calçadista.....	124
Figura 52: Laminados sintéticos.....	126
Figura 53: Termoplásticos.....	128
Figura 54: Gestão de resíduos da indústria calçadista.....	130
Figura 55: Produção automatizada.....	134
Figura 56: Chinelo Valinos - PedCad.....	136
Figura 57: Calçado HERON01 - Zellerfeld.....	137
Figura 58: ArchiTech Futurist - Under Armour.....	137
Figura 59: Tênis Zante Generate - New Balance.....	138
Figura 60: Calçados da coleção The Genesis Project - Amadou Ba Ndiaye.....	139
Figura 61: Tênis Fiber Maxis 3D - Fiber.....	140
Figura 62: Tênis Liquid Floatride Run - Reebok.....	141
Figura 63: Tênis 4DFWD x Parley - Adidas.....	142
Figura 64: Calçado BIO 1 - CODE Footwear.....	143
Figura 65: Calçado Shoetopia - Barbara Motylinska e Zuza Gronowicz.....	144
Figura 66: Protótipo de calçado Covestro - Desmopan.....	145
Figura 67: Modelos de calçado Shoetopia.....	146
Figura 68: Detalhes do calçado Shoetopia.....	147
Figura 69: Detalhes do calçado Lyf 3D.....	149
Figura 70: Detalhes do calçado Movez Traveler.....	150
Figura 71: Imagens de divulgação do calçado Muvez Traveler.....	151
Figura 72: Detalhes do calçado Reebok Liquid Floatride Run.....	153

Figura 73: Fluxograma de uso do calçado.....	154
Figura 74: Painel Semântico - Cíclico.....	164
Figura 75: Painel Semântico - Ecológico.....	164
Figura 76: Painel Semântico - Confortável.....	165
Figura 77: Painel Visual de Produtos - Comfort Sport.....	166
Figura 78 - Sistemas de montagem desenvolvidos.....	168
Figura 79 - Sistema 1 - Abas.....	170
Figura 80 - Sistema 2 - Deslizante.....	173
Figura 81 - Sistema 3 - Pinos.....	176
Figura 82 - Soluções de ajuste do cabedal.....	179
Figura 83: Impressora FDM Sethi3D AIP.....	182
Figura 85: Filamento 3NFlex no site da Dynalabs.....	185
Figura 86: Página do site do software Rhinoceros 3D.....	186
Figura 88: Padrões de Preenchimento do Ultimaker Cura.....	188
Figura 89: Testes de produção do Cabedal.....	189
Figura 90: Soluções de Montagem.....	191
Figura 91: Solução de Montagem 1 - Abas.....	193
Figura 92: Solução de Montagem 2 - Deslizante.....	194
Figura 93: Solução de Montagem 3 - Pinos.....	195
Figura 94: Testes de solução de produção do Cabedal.....	198
Figura 95: Padrões de preenchimento do Ultimaker Cura indicados para peças flexíveis.	200
Figura 96: Testes de padrão de preenchimento do Cabedal.....	202
Figura 97: Testes de densidade de preenchimento do cabedal.....	205
Figura 98: Testes de união das bordas do Cabedal.....	206
Figura 99: Soluções estéticas para o Cabedal.....	211
Figura 100: Soluções para a malha do Cabedal.....	212
Figura 101: Preenchimentos do Ultimaker Cura semelhantes às malhas criadas.....	213
Figura 102: Soluções estéticas para o Solado.....	214
Figura 103: Soluções para o Padrão Inferior do Solado.....	215
Figura 104: Combinações de Perfil de Cabedal e Perfil de Solado.....	217
Figura 105: Combinações de perfil de calçado e padrão inferior de solado.....	218
Figura 106: Esboços das alternativas.....	219
Figura 107: Alternativa Nº 1.....	220
Figura 108: Alternativa Nº 2.....	220
Figura 109: Alternativa Nº 3.....	221
Figura 110: Interface do aplicativo Polycam.....	224
Figura 111: Modelo tridimensional dentro do software Rhinoceros 3D.....	224
Figura 112: Modelo tridimensional escaneado, refinado, modificado e cotado.....	227
Figura 113: Vistas ortogonais e em perspectiva dos modelos tridimensionais.....	228

Figura 114: Desenhos geométricos de palmilha e perfil de forma sobre os modelos tridimensionais.....	229
Figura 115: Linhas adicionais e as formas desenvolvidas.....	230
Figura 116: Linhas Básicas de Modelagem projetadas sobre as Formas.....	231
Figura 117: Modelagem prévia.....	232
Figura 118: Anotações feitas durante a modelagem prévia.....	233
Figura 119: Linhas da modelagem das palmilhas.....	234
Figura 120: Palmilhas do protótipo.....	235
Figura 121: Superfície-base dos cabedais e ajustes.....	236
Figura 122: Linhas ortogonais para modelagem do cabedal.....	237
Figura 123: Linhas projetadas sobre as superfícies-base dos cabedais.....	238
Figura 124: Cabedais do Protótipo.....	238
Figura 125: Modelagem dos pinos de união do cabedal.....	239
Figura 126: Linhas de modelagem dos Ajustes.....	240
Figura 127: Linhas e resultado da modelagem dos olhais.....	241
Figura 128: Ajustes do protótipo final.....	242
Figura 129: Linhas de modelagem das Fitas de União.....	243
Figura 130: Linhas e resultado da modelagem dos orifícios da Fita de União.....	244
Figura 131: Fitas de união do protótipo final.....	244
Figura 132: Linhas de modelagem do Solado.....	245
Figura 133: Linhas finais da modelagem tridimensional do Solado.....	246
Figura 134: Solados do protótipo final.....	247
Figura 135: Renderização do Protótipo - Imagem 1.....	248
Figura 136: Renderização do Protótipo - Imagem 2.....	248
Figura 137: Renderização do Protótipo - Imagem 3.....	249
Figura 138: Renderização do Protótipo - Imagem 4.....	250
Figura 139: Palmilhas planificadas.....	251
Figura 140: Cabedais planificados.....	251
Figura 141: Ajustes planificados.....	252
Figura 142: Fitas de união planificadas.....	252
Figura 143: Solados.....	253
Figura 144: Cadarços planificados.....	253
Figura 145: Módulos do protótipo.....	255
Figura 146: Palmilha do protótipo.....	256
Figura 147: Cabedal do protótipo.....	256
Figura 148: Detalhes do Cabedal do protótipo.....	257
Figura 149: Fita de união do protótipo.....	258
Figura 150: Solado do protótipo.....	259
Figura 151: Detalhes do Solado do protótipo.....	259

Figura 152: Ajuste do protótipo.....	260
Figura 153: Detalhes do Ajuste do protótipo.....	261
Figura 154: Cadarço do protótipo.....	262
Figura 155: Protótipo - Foto 1.....	263
Figura 156: Protótipo - Foto 2.....	263
Figura 157: Protótipo - Foto 3.....	264
Figura 158: Detalhes do protótipo montado.....	265
Figura 159: Versões do Cabedal.....	266
Figura 160: Detalhes da segunda versão do Cabedal.....	267
Figura 161: Modificador de superfície no software de fatiamento.....	268
Figura 162: Testes de encaixe dos pinos.....	269
Figura 163: Calçado montado com a segunda versão do Cabedal.....	270
Figura 164: Calçado montado com a segunda versão do Cabedal.....	270
Figura 165: Fatiamento do protótipo dentro do Ultimaker Cura.....	271
Figura 166: Sequência fotográfica de montagem do protótipo.....	274
Figura 167: Vídeo da montagem do protótipo.....	275
Figura 168: Sequência Pictórica de Procedimento - Montagem do Calçado.....	276
Figura 169: Registro do teste de calce.....	277
Figura 170: Vídeo do teste de calce.....	278
Figura 171: Situação do ajuste após o teste de calce.....	278
Figura 172: Perspectiva explodida e módulos.....	289
Figura 173: Detalhamento dos preenchimentos.....	290
Figura 174: Identificação dos módulos planejados.....	291
Figura 175: Desenho técnico - Palmilha Esquerda.....	292
Figura 176: Desenho técnico - Cabedal Esquerdo.....	293
Figura 177: Desenho técnico - Fita de União Esquerda.....	294
Figura 178: Desenho técnico - Solado Esquerdo.....	295
Figura 180: Desenho técnico - Cadarço Esquerdo.....	297
Figura 181: Desenho técnico - Palmilha Direita.....	298
Figura 182: Desenho técnico - Cabedal Direito.....	299
Figura 183: Desenho técnico - Fita de União Direita.....	300
Figura 184: Desenho técnico - Solado Direito.....	301
Figura 185: Desenho técnico - Ajuste Direito.....	302
Figura 186: Desenho técnico - Cadarço Direito.....	303

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Análise de desgaste.....	155
Quadro 2: Requisitos de Projeto.....	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de Decisão - Sistemas de Montagem.....	196
Tabela 2: Matriz de Decisão Produção do Cabedal.....	199
Tabela 3: Matriz de Decisão Preenchimento Solado e Palmilha.....	201
Tabela 4: Matriz de decisão do padrão de preenchimento do Cabedal.....	203
Tabela 5: Matriz de decisão da União da bordas do Cabedal.....	207
Tabela 6: Medidas obtidas a partir da fita métrica.....	225
Tabela 7: Custos Calçado esquerdo.....	272
Tabela 8: Custos Calçado Direito.....	272
Tabela 9: Indicador de Sustentabilidade de Material (TPU).....	285

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

€ – Euro
2D – Duas Dimensões
3D – Três Dimensões
AbiCalçados – Associação Brasileira das Indústrias de Calçados
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno
a.C – Antes de Cristo
ACV – Análise de Ciclo de Vida
CAD – *Computer Aided Design*
CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina
CFPIC – Centro de Formação Profissional da Indústria do Calçado
CH₄ - Metano
CO₂ - Dióxido de Carbono
cm – Centímetro(s)
CNC – Controle Numérico Computadorizado
CR – Comprimento Real da Forma
DLS – Digital Light Synthesis
Dr. – Doutor
Dra. – Doutora
EEEP – Escola Estadual de Educação Profissional
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EVA – Etileno Acetato de Vinila
FDM – Fused Deposit Modeling
Ft – Feet
g – grama(s)
GEE - Gases do Efeito Estufa
Gg – Gigagramas
GWh – GigaWatt-hora
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISM - Indicador de Sustentabilidade de Materiais
In – Inches
ISO – International Organization for Standardization
ISPA – Improve. Scavenge. Protect. Adapt.
IPPU - Processos Industriais e Uso de Produtos
HFCs - Hidrofluorcarbonos
km – quilômetro(s)
kg – quilograma(s)
kWh – quiloWatt-hora
LCD – Liquid Crystal Display
LiDAR – Light Detect and Ranging
MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
mm – Milímetro(s)
N₂O- Óxido Nitroso
NBR – Norma Brasileira
NTH - Nicieza y Taverna Hnos.

NURBS - Non-Uniform Rational B-Splines
NOx - Óxidos de azoto
PA – Poliamida
PC – Policarbonato
PCC – Projeto de Conclusão de Curso
PE – Polietileno
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
PEI – Polietierimida
PETG – Polietileno Tereftalato Glicol
PLA – Ácido Polilático
PP – Polipropileno
PSAI – Poliestireno de Alto Impacto
PU – Poliuretano
PUAD – Poliuretano de Alta Densidade
PVC – Policloreto de Vinila
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
R\$ - Reais
SARS Covid 19 – Síndrome Respiratória Aguda Grave - *Coronavirus Disease 2019*
SBR – *Styrene-Butadiene Rubber* - Borracha de Estireno e Butadieno
SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas
SBS – *Styrene-Butadiene-Styrene* - Borracha Estireno e Butadieno
SLA – Stereolithography
SLS – Selective Laser Sintering
SPP - Sequência Pictórica de Procedimento
TNT – Tecido não tecido
TPE – Elastômero Termoplástico
TPR – *Thermoplastic Rubber*
TPU – *Thermoplastic Polyurethane*
TR – *Thermoplastic Rubber*
TWh – TeraWatt-hora
U\$ – Dólares Americanos
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USB – Universal Serial Bus
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UV – Ultra Violeta
V – Volt(s)
W – watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E DA PROBLEMÁTICA DE PROJETO.....	17
1.1.1 Problemática	17
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.3 JUSTIFICATIVA.....	21
1.4 DELIMITAÇÃO.....	24
1.5 METODOLOGIA.....	24
1.6 ESTRUTURA DO RELATÓRIO.....	27
2 DESENVOLVIMENTO	29
2.1 EXPLORAR.....	29
2.1.1 Problematização	29
2.1.2 Análise	30
2.2 DEFINIR.....	158
2.2.1 Definição do Problema	158
2.3 DESENVOLVER.....	166
2.3.1 Anteprojeto	167
2.3.2 Avaliação	221
2.4 ENTREGAR.....	222
2.4.1 Realização	222
2.4.2 Análise Final	270
3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	288
3.1 DESENHO TÉCNICO.....	288
3.1.1 Calçado Esquerdo	291
3.1.2 Calçado Direito	297
4 REFERÊNCIAS	304
5 ANEXOS	319
6 MEIO DE REPRESENTAÇÃO “TRIDIMENSIONAL”	321

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E DA PROBLEMÁTICA DE PROJETO

Calçados são artigos confeccionados pelos humanos há muito tempo, inicialmente, atendiam ao propósito de apenas proteger os pés de superfícies pelas quais caminhavam. Ao passo que a sociedade evoluiu agregaram-se significados aos calçados, passando por indicação de classe social na idade média (como toda a indumentária), chegando à expressões humanas como sensualidade e estilo, além da evolução de modelos de calçados específicos para diferentes esportes.

Com a evolução da industrialização, os processos, antes artesanais, de confecção de calçados passaram a compor uma linha de produção segmentada em etapas, adotando padrões de formas e materiais que facilitam a produção massiva, alterando a relação, antes direta, do usuário final com quesitos do artigo confeccionado. A padronização é ainda impulsionada pela globalização, que faz com que produtos sejam consumidos em ambientes sócio-econômicos muito diferentes dos quais foram projetados. Esta diferença significa variações climáticas, antropológicas e de disponibilidade de recursos ao redor do globo.

Atualmente, a indústria de calçados utiliza tecnologias do estilo CAD (*Computer Aided Design*) para o desenvolvimento de modelos, e estuda a inserção das tecnologias de impressão 3D (três dimensões) na produção de calçados. O emprego desta tecnologia torna possível que os modelos CAD, destinados à impressão, sejam combinados com a digitalização precisa (modelo 3D) dos pés do usuário final. Não obstante, possibilita a produção em pequena escala apoiada pela difusão e evolução dos métodos de impressão 3D e, conseqüentemente, o barateamento dos custos de aplicação destas tecnologias (Bozano; Oliveira, 2011; Bueno, 2013; Vicente, 2016).

Diante do exposto, esse Projeto de Conclusão de Curso foi fundamentado em metodologias projetuais aplicadas na concepção de um modelo de calçado customizado para usuário final, com encaixes e substituição de peças, através de tecnologias de escaneamento e impressão 3D.

1.1.1 Problemática

A Problemática foi desenvolvida através da segmentação do problema em três principais fatores identificados: Padronização; Recursos; Uso e Descarte. Cada fator apresentado revela um questionamento, sendo que tais questões guiaram o desenvolvimento do projeto.

Padronização

É inegável a variação física que há entre os seres humanos ao redor do mundo. Impulsionadas por fatores como as condições climáticas; características geográficas; bem como questões sociais; as pequenas diferenças entre as mesmas estruturas que compõem o corpo humano faz com que este adapte-se mais ou menos às condições às quais é submetido. Estas adaptações são constantes e ocorrem desde os primeiros humanos, transpondo as gerações através da informação genética legada dos pais e mães para filho(a)s e também através da cultura, da educação, da sociedade no geral.

Com a industrialização dos processos de fabricação de calçados, a própria figura do artesão, do sapateiro no caso, foi “atualizada”. Com a necessidade de produzir grandes quantidades de calçados, o artesão, que antes ele tratava diretamente com o usuário final, tirando as medidas, atendendo às preferências estéticas e estruturais de cada cliente diferentemente em cada modelo confeccionado, tem o seu ofício segmentado em pequenas etapas produtivas realizadas por diferentes pessoas ao longo do processo. Para que os calçados fabricados possam atender à maior quantidade possível de pessoas, criou-se uma série de padrões, modificados e apoiados em estudos antropométricos e ergonômicos, para definir o volume dos pés e produzir formas que possibilitem a confecção de calçados minimamente adequados aos pés que os calçam. O que ocorre é que as indústrias desenvolvidas domesticamente, em diferentes países, fizeram com que os padrões evoluíssem de maneiras diferentes. Isso ocorre por questões práticas como a utilização do sistema métrico ou imperial para realização das medições, de formas e conseqüentemente da numeração dos calçados. A numeração dos calçados é um bom exemplo para mostrar o quão mínima é a adequação das formas para os diferentes públicos. Nota-se que ao comprar um calçado, normalmente na etiqueta interior, pode ser encontrada a origem (país de fabricação) e uma tabela com algumas numerações sob siglas que correspondem a países e

as numerações adotadas por cada um deles, isso significa que o mesmo calçado, produzido com a mesma forma foi fabricado na China, por exemplo, é vendido para o mercado de três ou quatro outros países (Bozano; Oliveira, 2011; Bueno, 2013).

A utilização de um padrão de medidas pressupõe que os indivíduos que compõem o grupo consumidor possuem um formato padrão de pés, o que, num país com dimensões continentais como o Brasil, com sua heterogeneidade agravada pela miscigenação, não pode ser assumido.

Como produzir pares de calçados personalizados individualmente?

Recursos

Como em toda indústria, os fabricantes de calçados adquirem a matéria-prima e trabalham-na para confeccionar o produto e descartam os excedentes. Alguns processos podem ser terceirizados e já chegam prontos para montagem, caso de alguns cortes, estampas entre outros, o que apenas transfere a quantidade de resíduo gerado da empresa de confecção para a de fornecimento de matéria-prima. Uma das principais matérias-primas usadas para a fabricação de calçados é o couro bovino, por conta da sua resistência e elegância, compondo as solas e os cabedais de muitos modelos. Além do fato de ser de origem animal, o processo de tratamento do couro envolve produtos agressivos que, apesar de serem substituíveis, estão amplamente difundidos na cadeia produtiva e podem ser incentivados por questões lucrativas. As rebarbas de couro tratado compõem uma grande parte dos resíduos das indústrias calçadistas, material com possibilidade de reaproveitamento, mas com uma reciclagem complexa e onerosa (Bueno, 2013; Vicente, 2016).

Como alternativas ao couro animal, além dos tecidos têxteis utilizados muitas vezes, surgiram diversos recursos sintéticos no final do Século XX, como o EVA (Etil Vinil Acetato), PU (Poliuretano), PVC (Policloreto de Vinila) e SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), SBR (Borracha composta de Estireno e Butadieno) entre outros que surgiram com o propósito de imitar ou substituir o couro com materiais mais versáteis e de menor custo, mesmo que em detrimento da durabilidade. Estes materiais muitas vezes são passíveis de reciclagem, desde que ambas indústrias, de produção e de reciclagem, estejam prontas para o processo. Mas o que ocorre é que os resíduos que saem da indústria de produção são compostos de uma diversidade de materiais misturados de uma forma que torna difícil, ou mesmo inviável, o

processo de reciclagem, resultando em um grande volume de resíduos em aterros ou mesmo descartados irregularmente.

Estas questões são comuns a diversos setores produtivos, com a alternância dos materiais e processos envolvidos, os produtos são fabricados e há um excedente de matéria-prima que no caso da impossibilidade de reaproveitamento, será descartado podendo ou não ser reciclado/reciclável (Bueno, 2013; Vicente, 2016).

Como reduzir a quantidade de resíduos gerados na produção dos calçados?

Uso e Descarte

Os calçados são artigos pessoais que estão diretamente relacionados com a função motora de caminhar do ser humano, o que faz com que essencialmente, antes de possuir valor estético, ele tenha valor técnico/prático, que pode ser simplesmente proteger os pés ou até mesmo melhorar o rendimento em alguns casos. Portanto, podem ser utilizados por diferentes pessoas e para fins diversos, até mesmo para fins inapropriados, fazendo com que com o uso por longos períodos ou o uso repetidas vezes faça com que os calçados se adaptem, mesmo que levemente, aos pés do usuário, à suas formas e movimentos biomecânicos produzidos durante as mais diversas atividades (Bozano; Oliveira, 2011; Bueno, 2013; Vicente, 2016).

Esta adaptação pode levar a vários cenários como a deformação da estrutura do calçado, desgaste de partes específicas do calçado (pontos de pressão na planta dos pés, ossos salientes entre outros) como o solado e o cabedal, mas o mais importante é que estas alterações podem impactar positiva ou negativamente nas atividades praticadas, seja por modificar a mecânica dos movimentos ao caminhar ou correr, seja por alterar a sensação de conforto ao calçar (Bozano; Oliveira, 2011; Bueno, 2013; Vicente, 2016).

Por serem artigos comercializados em pares espelhados, os calçados estão sujeitos a diferentes situações e até mesmo movimentos mecânicos entre os pés esquerdo e direito, fazendo com que além do desgaste entre as diferentes estruturas do calçado, também haja um desgaste entre as diferentes unidades do par. Esta múltipla variação de desgastes pode levar a um descarte precoce dos calçados, onde um rasgo no cabedal, por exemplo, pode inutilizar ambos calçados, mesmo que a sola deste cabedal rasgado ainda esteja utilizável; a lógica cabedal e sola pode ser invertida que temos o mesmo resultado: descarte do produto sem a certeza de que será reutilizado ou reciclado, pois é improvável a compra de apenas

um lado do par de sapatos e a substituição da parte danificada é ainda mais improvável.

Como produzir calçados com estruturas substituíveis e recicláveis quando necessário?

Os três fatores apresentados estão ligados ao ciclo produtivo dos calçados, abrangendo temas que vão além da produção do produto. A padronização apresentou problemas relacionados ao consumo de um mesmo produto em diferentes partes do mundo, onde cada povo tem suas características. A produção relatou problemas da obtenção de matéria prima e dos excedentes gerados na sua transformação em produto final. O uso e descarte é um problema que se conecta aos anteriores, abordando as temáticas biológica e produtiva.

Com o intuito de responder às perguntas apresentadas, formulou-se um Objetivo Geral que levou aos Objetivos Específicos para este projeto.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de calçado modular produzido pela tecnologia de impressão em 3D, com possibilidade de substituição das partes - solado e cabedal - que frequentemente são desgastadas de maneira desigual.

Objetivos Específicos

- Pesquisar as diferentes estruturas de calçados;
- Analisar a Antropometria e Ergonomia dos calçados;
- Investigar a utilização da tecnologia de impressão 3D no mercado de calçados;
- Modelar digitalmente um protótipo de calçado para impressão 3D;
- Materializar um protótipo funcional, impresso com a tecnologia 3D disponível.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo o IEMI (2022), o Brasil produz mais de oitocentos milhões de pares de calçados por ano, o que representa pouco mais de quatro por cento de toda a produção

mundial. Esse volume de produção faz com que o Brasil ocupe o quinto lugar na lista dos maiores produtores mundiais fora da Ásia. De acordo com os números levantados pela Associação Brasileira das Indústrias de Calçados (AbiCalçados, 2021), O Brasil postula o vigésimo segundo lugar entre os maiores exportadores do mundo: foram exportados quase cento e vinte e cinco milhões de pares destinados a mais de cento e setenta países diferentes, gerando uma receita aproximada de novecentos milhões de Dólares americanos. São cinco mil e quatrocentas empresas de calçados em solo brasileiro, com duzentos e sessenta e seis mil postos de trabalho diretos.

O relato do IEMI (2022) afirma que foram gastos cinquenta e seis bilhões de Reais em sapatos no mercado interno brasileiro no ano de 2021, com crescimento de quase vinte por cento em relação ao ano anterior, uma normalização parcial dos números de consumo após a forte queda dos volumes de produção e de venda relacionados à crise pandêmica vivenciada em decorrência da SARS Covid 19 (*Síndrome Respiratória Aguda Grave - Coronavirus Disease 2019*). Independentemente do segmento do calçado escolhido, as mulheres representam três quintos do público consumidor, entre os motivos que levam à compra destacam-se: qualidade do produto; custo x benefício; sensação ao calçar; versatilidade; durabilidade; design e outros. Na contramão estão as motivações para que os consumidores deixem de comprar um calçado: estética incompatível; preço elevado; práticas trabalhistas imorais; política social e ambiental entre outros.

A frequência média de aquisição de sapatos pelos brasileiros é de quatro pares por ano, com uma precificação média de duzentos e sessenta e quatro Reais (IEMI, 2022).

Com todas as mudanças no cotidiano relacionadas à crise sanitária mundial, principalmente no ano de 2020, mudaram também os hábitos de consumo da população, o IEMI (2022) aponta números que creditam dois quintos das vendas aos canais digitais e os principais meios para isso são o buscador “Google” e o aplicativo “Instagram”. A preferência por esse canal de compra se dá, principalmente, pela facilidade da entrega em domicílio e pelos preços praticados nas lojas digitais, normalmente mais em conta que os praticados nas lojas físicas. A marca é um fator decisivo para setenta e um por cento dos consumidores de calçados e segundo um executivo de marketing de uma empresa do setor coureiro calçadista entrevistado pelo IEMI (2022), questões sócio-ambientais estão ganhando cada vez mais importância na decisão de compra, levando as empresas a adotarem materiais e procedimentos que atendam à essas exigências para ganhar a “confiança” do público. Quase

metade dos consumidores da amostra adquiriram calçados sustentáveis e um quinto, aproximadamente, afirmam que a sustentabilidade é um fator chave para efetivar a compra, e, dentre os que pagariam mais caro por um produto comprovadamente sustentável, três quartos afirmam que pagariam de dez à vinte por cento a mais por esse tipo de produto.

Essa crescente conscientização da população, no que diz respeito aos impactos sociais e ambientais, sobre os processos produtivos praticados pelas empresas em questões de gestão de pessoas e recursos, deve-se principalmente aos avanços tecnológicos nos meios de comunicação, que permite que informações circulem o mundo inteiro em questão de segundos. Além da informação, a tecnologia digital está se inserindo pouco a pouco nos diversos campos de atividade humana e uma das inovações tecnológicas mais significativas dos últimos tempos é a chamada “Prototipação Rápida”, mais popularmente referida como “Impressão 3D”. O processo interpreta as informações binárias de um modelo volumétrico virtual (modelo CAD) e, através da deposição de material, dá forma física ao objeto modelado no software digital. Após a invenção da Estereolitografia por Charles Hull, em 1984, processo que permite a solidificação de um polímero líquido através da fotossensibilidade, essa técnica de deposição de material já foi evoluída e adaptada aos mais diversos materiais e propósitos, a Impressão 3D já possui participação nos principais setores de produção, desde o mais básico, como alimentício, passando pela moda, pela construção civil e até aeroespacial. (Müller, 2017)

Cunha (2015. *Apud* Müller, 2017 p. 41) afirma que a Impressão 3D é considerada sustentável por natureza, e que, comprovadamente reduz o desperdício de material, os custos da prototipação, de transporte e armazenamento. Müller (2017), desta vez citando o Dr. (Doutor) Ray Karzuweil, inventor norte americano, afirma que já no ano de 2025 as impressoras digitais serão muito populares, com diversos arquivos de códigos abertos para *download* e que, portanto, roupas e acessórios poderão ser adquiridos virtualmente e materializados em oficinas especializadas ou até mesmo em casa.

Os calçados sempre foram objetos que despertaram o interesse pessoal do autor deste projeto, a forma como este utensílio combina forma e função, pilares do design no geral, fizeram com que esta categoria de produto fosse seu objetivo final no curso. Apesar de não ter cursado o projeto de moda disponível no currículo do curso de Design da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), o interesse por calçados o acompanhou durante toda a graduação, onde, visando obter as habilidades necessárias para desenvolver produtos

com essa finalidade, buscou cursar os três projetos disponíveis no curso de Design de Produto da UFSC: Produto de Baixa, Média e Alta Complexidade, respectivamente. Com a conclusão dos projetos, com adição do projeto de Branding e das disciplinas complementares também cursadas, como Produção e Comunicação de Moda e Rendering, pode reunir as habilidades inerentes da prática projetual e decidiu aplicá-las em um projeto de interesse pessoal e profissional, processo este que será relatado no decorrer deste documento.

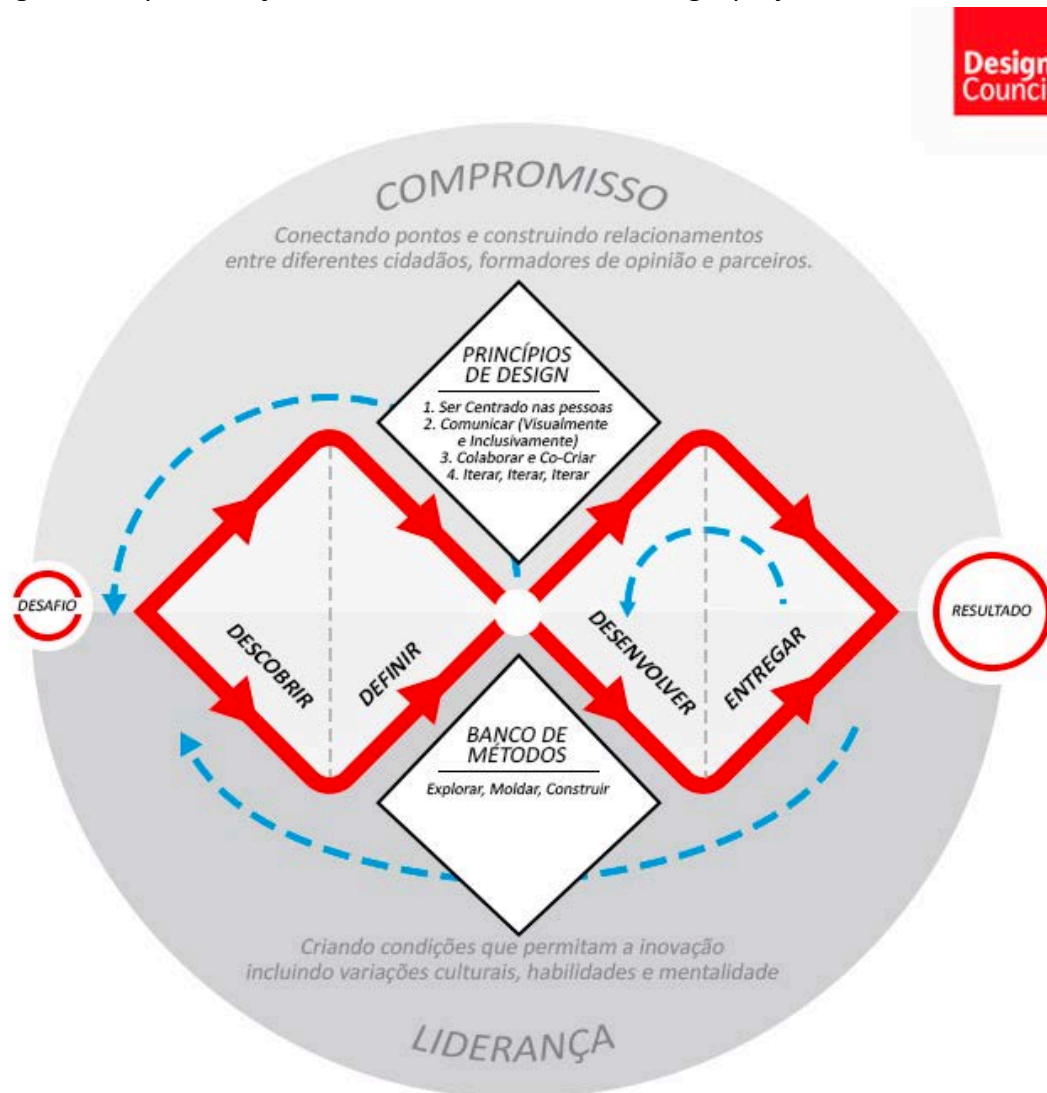
1.4 DELIMITAÇÃO

Como resultado final, após a aplicação da metodologia projetual, esse PCC (Projeto de Conclusão de Curso) tem o objetivo de conceber um protótipo digital de calçado com a possibilidade de ser materializado em escala através da tecnologia de impressão 3D, visando melhores adaptações para o usuário e as consequentes reutilização e redução dos resíduos decorrentes do processo produtivo.

1.5 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados para esse PCC são decorrentes de uma fusão entre a metodologia *Double Diamond*, acrescidas de etapas da metodologia projetual de Gui Bonsiepe. A metodologia *Double Diamond* foi criada pelo The Design Council e é composta por quatro etapas: Explorar; Definir; Desenvolver; Entregar (DESIGN COUNCIL, 2003). A figura 1 foi elaborada com a intenção de traduzir o fluxograma dessa metodologia, utilizando elementos e cores semelhantes ao original, disponibilizado pelos criadores. Para complementar essas 4 etapas norteadoras, foram incorporados procedimentos da metodologia projetual de Gui Bonsiepe, que, na página 36 de seu livro “Metodologia Experimental: Desenho Industrial.” publicado em 1984, afirma que processo projetual pode ser esquematicamente subdividido em sete etapas: 1-Problematização; 2-Análise; 3-Definição do Problema; 4- Anteprojeto; 5- Avaliação; 6- Realização; e 7- Análise Final, respectivamente (Bonsiepe, 1984). Estas sete subdivisões serão inseridas dentro das quatro etapas da *Double Diamond* com algumas das ferramentas propostas nessa metodologia.

Figura 1: Representação visual traduzida da metodologia projetual *Double Diamond*



Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado e Traduzido de DESIGN COUNCIL, 2003.

Este item do relatório detalha os procedimentos metodológicos utilizados neste projeto, onde dentro de cada uma das quatro etapas do *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003) foram inseridas uma ou mais das sete subdivisões do processo projetual descrito por Bonsiepe (1984).

Explorar (ETAPA 1 DOUBLE DIAMOND);

A primeira etapa do *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), chamada "Explorar", consiste em questionamentos sobre o problema e rapidamente leva à pesquisas para identificação das necessidades dos usuários, as ferramentas utilizadas aqui serão: Observação; Colocando-se como usuário; Pesquisas secundárias; Aqui foram inseridos os dois primeiros passos propostos por Bonsiepe (1984): Problematização e Análise. A

Problematização começa com as respostas para as três perguntas iniciais que deverão levar a uma pré visualização do problema que, após a utilização de uma série de ferramentas de análise, será definido na etapa seguinte, denominada “Definir”, que conclui o primeiro diamante da metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003).

Problematização (Passo 1 de Bonsiepe);

O QUÊ? A situação ou a coisa que se deve melhorar; os fatores essenciais do problema, os fatores influentes.

PORQUE? Os objetivos, a finalidade do projeto incluindo os requisitos/critérios que uma boa solução deve ter.

COMO? O caminho - os meios, métodos, técnicas, recursos humanos e econômicos, tempo disponível; Experiência.

Análise (Passo 2 de Bonsiepe);

Ferramentas: Lista de verificação; Análise em relação ao uso; Análise diacrônica; Análise sincrônica; Análise estrutural; Análise morfológica; Análise funcional.

Definir (ETAPA 2 *DOUBLE DIAMOND*);

Nesta, que é a fase final do primeiro diamante da metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), foi inserido o terceiro passo para Bonsiepe (1984) “Definição do Problema” com algumas ferramentas propostas pelo autor. Essa fase consiste em significar as informações encontradas e entender como as necessidades do usuário e o problema se alinham, criando um briefing claro sobre o projeto.

Definição do Problema (Passo 3 de Bonsiepe);

Ferramentas: Lista de requisitos; Hierarquia de requisitos; Formulação do projeto.

Desenvolver (ETAPA 3 *DOUBLE DIAMOND*)

Na terceira fase, que inicia o segundo diamante da metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), o objetivo é desenvolver, testar e refinar múltiplas soluções para o problema definido. Para compor esta etapa foram utilizados o quarto e o quinto passo para Bonsiepe (1984), Anteprojeto e Avaliação. Cada passo é apoiado em diferentes ferramentas,

no Anteprojeto são utilizadas ferramentas criativas e na Avaliação são usadas ferramentas avaliativas para escolha das melhores alternativas para desenvolvimento do projeto.

Anteprojeto (Passo 4 de Bonsiepe);

Ferramentas: Brainstorm; Esboços; Caixa morfológica; Maquetes.

Avaliação (Passo 5 de Bonsiepe);

Ferramentas: Seleção das alternativas que melhor resolvem os problemas de acordo com a hierarquia de requisitos; Aprimoramento das melhores soluções; Combinação das melhores características de cada solução;

Entregar (ETAPA 4 *DOUBLE DIAMOND*);

A última fase do segundo diamante da *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), chamada “Entregar”, consiste em testar e refinar a solução escolhida em vista de otimizar a funcionalidade do projeto para produção. Composto esta etapa estão os passos seis e sete de Bonsiepe (1984): Realização e Análise final.

Realização (Passo 6 de Bonsiepe);

Ferramentas: Refinamento da solução encontrada; Modelagem tridimensional; Desenhos técnicos; Testes Estruturais; Protótipo de baixa fidelidade; Protótipo fidedigno.

Análise Final (Passo 7 de Bonsiepe);

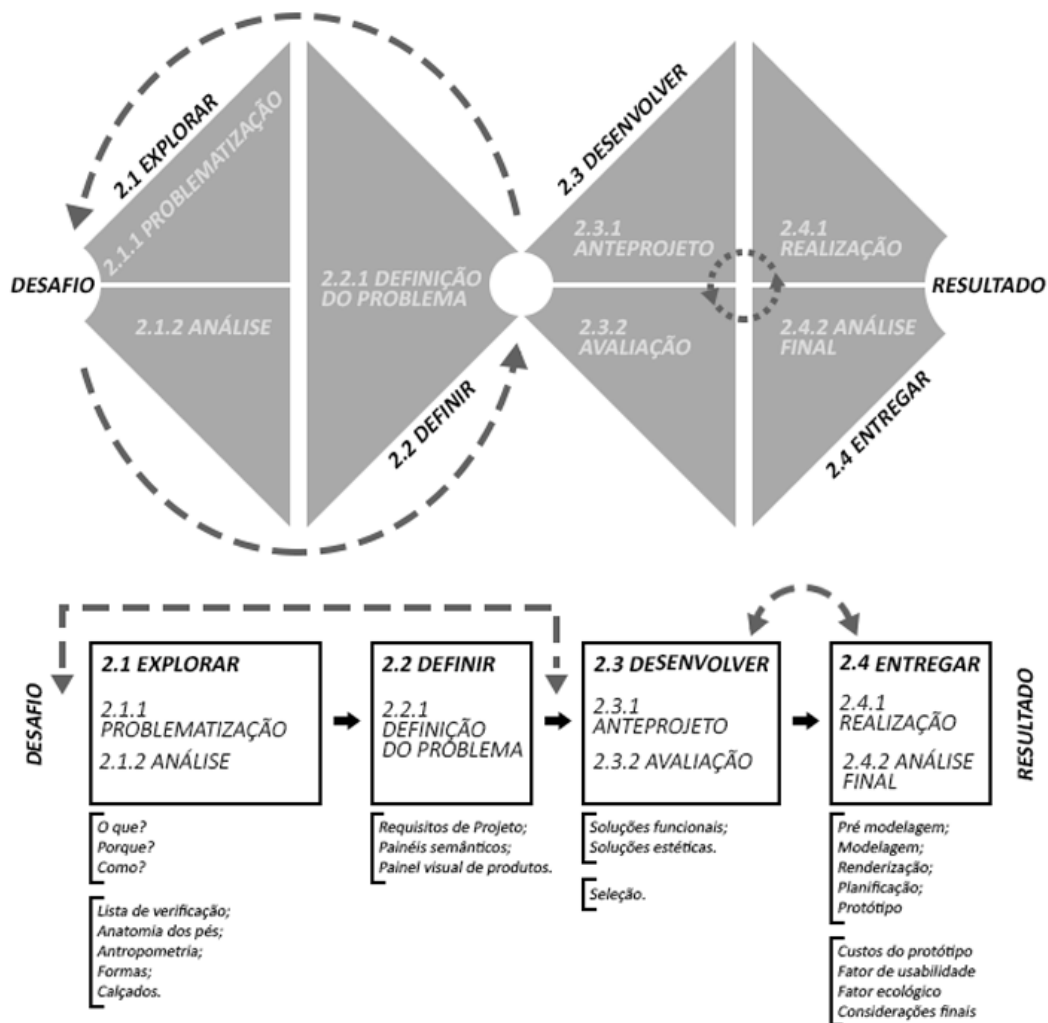
Ferramentas: Considerações sobre a abrangência e as limitações do projeto finalizado; Conclusões; Considerações futuras.

1.6 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

A Figura 2 foi elaborada para ilustrar os procedimentos metodológicos, fundamentados nas duas metodologias já citadas, adotados para este PCC, inserindo os sete passos de Bonsiepe (1984) nas quatro etapas da metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003). Na parte superior da figura 2 pode-se observar um fluxograma mais semelhante ao exposto na Figura 1, no item 1.5, e na parte inferior o mesmo fluxograma

desenvolvido para esta pesquisa foi disposto de maneira mais linear e com detalhamento das ferramentas utilizadas em cada um dos sete passos a fim de proporcionar melhor entendimento do método seguido.

Figura 2: Metodologia deste PCC.



Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de DESIGN COUNCIL, 2003; BONSIPE, 1984.

O capítulo 2, intitulado “Desenvolvimento”, traz o relato de cada uma das etapas dos procedimentos metodológicos adotados.

2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo descreve a execução de todas as etapas do processo metodológico, anteriormente descrito, escolhido para este projeto. Serão quatro itens, um para cada etapa da metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), compostos por outros itens referentes à metodologia projetual de Bonsiepe (1984).

2.1 EXPLORAR

A etapa Explorar inicia a metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), sendo a primeira etapa do primeiro diamante. Aqui foram inseridas os dois passos iniciais da metodologia de Bonsiepe (1984), Problematização e Análise, que serão apresentadas a seguir. Esta fase exploratória baseou-se em pesquisas secundárias sobre calçados e sobre os pés, consequentemente.

2.1.1 Problematização

O primeiro passo de Bonsiepe (1984) consiste em responder a três perguntas - O quê?; Como?; e Porque? - com intuito de pré-visualizar o problema, então este PCC buscou problematizar os produtos da categoria de calçados. As respostas para as perguntas são apresentadas a seguir.

O quê?

Desenvolver um calçado capaz de ser ajustado às medidas e características dos diferentes usuários individualmente, antes da materialização do produto, utilizando materiais passíveis de reciclagem em seus componentes e um sistema de montagem que facilite a desmontagem e permita a substituição das partes degradadas, com a intenção de reduzir o descarte das sobras de produção pela indústria e do produto pelo usuário final após a utilização.

Como?

Aplicar a metodologia projetual definida para o projeto, reunindo as informações necessárias para o desenvolvimento de calçados através de pesquisas secundárias e informações disponíveis na internet em conjunto com os conteúdos e técnicas estudados durante o curso de graduação em Design. Além do autor deste PCC, o projeto conta com o apoio dos discentes do curso de Design e Design de Produto da Universidade Federal de Santa Catarina e também com os recursos disponíveis na universidade, como a biblioteca universitária, o repositório, o laboratório Pronto 3D e seus recursos.

Porque?

Os calçados comercializados mundialmente são fabricados a partir de formas com medidas padronizadas que não representam o formato dos pés de todos os usuários e não levam em conta suas especificidades biomecânicas.

A fabricação de calçados é caracterizada por ser uma indústria de transformação que adquire as matérias primas para confeccionar os produtos e descarta os excedentes para reciclagem ou decomposição/incineração.

Os modelos são compostos por uma grande diversidade de materiais misturados, o que dificulta o reaproveitamento, fazendo com que os materiais mais sensíveis comprometam o restante do produto.

Com a resposta das três perguntas, que compõem o primeiro passo da metodologia projetual de Bonsiepe (1984), definiu-se a problematização como indicado pelo autor, o projeto seguiu então para o segundo passo da metodologia - Análise.

2.1.2 Análise

A etapa de análise configura o segundo passo da metodologia projetual de Bonsiepe (1984) e foi inserido dentro do primeiro diamante da metodologia *Double Diamond* (DESIGN COUNCIL, 2003), antes da etapa de definição do problema. As análises apresentadas neste capítulo têm como objetivo nortear a etapa seguinte, onde serão definidos os requisitos de projeto, portanto foram analisados diversos pontos, como anatomia, biomecânica, normas, estrutura do produto (montagem e materiais), bem como uma análise da evolução do

produto ao longo do tempo, análise de similares, dos sistemas de medidas, das tecnologias de fabricação digital, do ciclo de vida dos calçados e outras análises que podem ser vistas a seguir.

Como os calçados estão intimamente ligados ao formato e funcionamento das estruturas dos pés, após a lista de verificação iniciou-se as análises anatômicas, biomecânicas e antropométricas. Como estas análises fundamentam o desenvolvimento de formas, que por sua vez fundamentam o desenvolvimento do calçado, após apresentar a parte anatômica foi inserida uma análise sobre os sistemas de medidas e então foram analisados os pontos sobre a produção, montagem e descarte dos calçados propriamente ditos.

Lista de Verificação

Segundo Bonsiepe (1984) esta ferramenta serve para organizar detalhadamente os atributos do produto, neste caso calçados, detectando deficiências informacionais que deverão ser superadas. Foram buscadas definições para as palavras “calçados”, “sapatos” e “tênis”; estas definições estão apresentadas neste item, a seguir.

Definições

Segundo o dicionário da Oxford, disponível no Google (2023), “Calçado” é um substantivo masculino. A palavra deriva do latim - *calceātus* - particípio passado do verbo - *calceāre* - que significa calçar, meter os pés no calçado. O substantivo é definido pelo dicionário como “Peça de vestuário feita em couro, lona ou outro material, para calçar ou vestir o pé.”

No mesmo dicionário, “Sapatos” é um substantivo masculino e a origem da palavra é desconhecida. É definido como “Calçado, geralmente de sola dura, que cobre o pé.”

Ainda no dicionário da Oxford, via Google (2023), o substantivo masculino “Tênis” tem origem no inglês “*Tennis*”, nome do esporte jogado com raquetes (“Tênis”, em português) é definido como “Sapato de material leve (lona, tecido, couro ou plástico) e sola flexível de borracha, para uso esportivo e geral. Sapato-tênis.”

A atribuição do nome do esporte “Tênis” aos calçados do tipo esportivo deve-se a coincidência entre os períodos de popularização do esporte e dos calçados esportivos no Brasil. Os calçados importados chamados “*Tennis Shoes*” acabaram por legar nome aos

calçados do tipo esportivo (WIKIPEDIA, 2023). Já o esporte, por sua vez, também tem origem no inglês "*Tennis*", que tem origem no francês "*Tenez*", palavra proferida pelos atletas ao colocar a bola em jogo ao início do ponto. Traduzindo diretamente para o português os termos são "*Tome*" ou "*Tenha*" (ORIGEM DA PALAVRA, 2023), mais informalmente ainda pode-se assimilar com expressões como "*Pegue*", "*Segure*", "*Receba*" entre outras.

Anatomia dos Pés

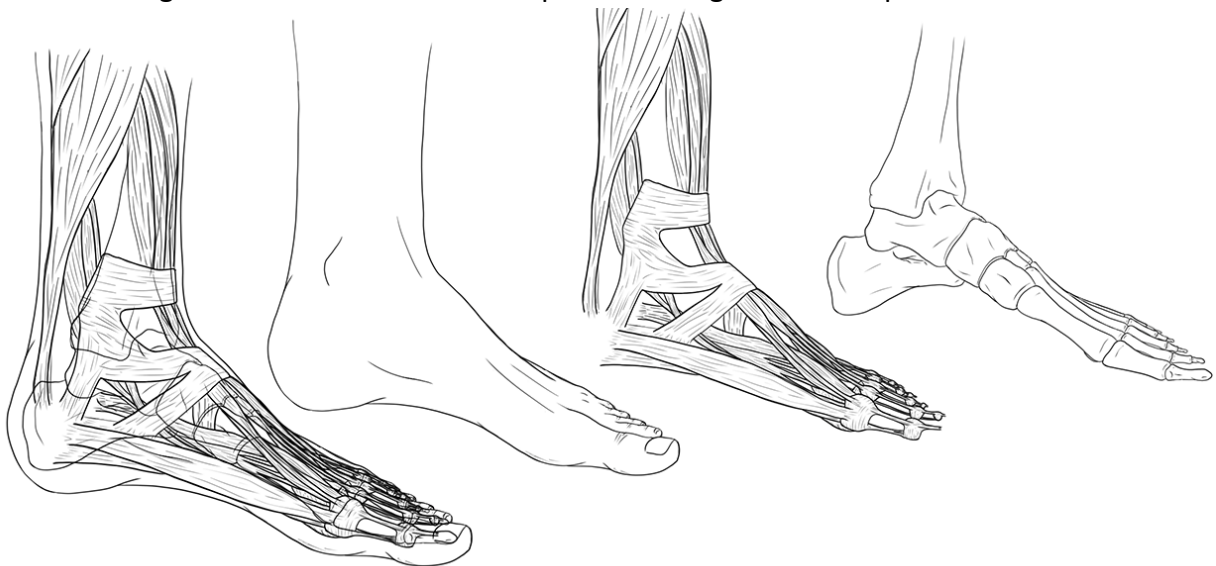
Como visto nas definições apresentadas anteriormente, a principal função dos calçados é "*vestir e proteger os pés*", podendo cobri-los total ou parcialmente. Portanto, a compreensão das complexas estruturas do pé humano torna-se indispensável para a concepção de calçados, tendo em vista sua usabilidade: funcionalidade e conforto. Os itens apresentados neste capítulo têm como finalidade a elucidação das estruturas que compõem a anatomia dos pés.

Aki Choklat (2012) discorre que os pés são partes muito importantes do corpo humano, pois influenciam no equilíbrio de toda a estrutura corporal diretamente, já que são o ponto de apoio na superfície e o caminhar é diretamente dependente da possibilidade de movimentação das estruturas que os compõem, para que possa ser executado de maneira confortável e efetiva. Sendo assim, os calçados precisam assistir, apenas, ao caminhar do usuário, permitindo a natural movimentação dos ossos, ligamentos, tendões entre outros componentes que fazem parte dessa estrutura, interferindo somente para proteção externa e, em alguns casos, para performance em atividades específicas. Essa interferência deve ser limitada, a fim de não comprometer, também, o conforto no interior do sapato e para isso a indústria adota "*folgas-padrão*" para algumas áreas e diferentes materiais em quantas partes forem necessárias para oferecer esse conforto. Contudo as estruturas citadas são internas, ou seja, estão cobertas pela pele humana e não conseguimos vê-las diretamente em situações normais. Considerando isso o autor aponta algumas partes básicas que devem ser consideradas para um suficiente entendimento prático dessas estruturas complexas. Os vinte e seis ossos, trinta e três articulações e mais de cem músculos são divididos em seis partes principais: tornozelo, calcanhar, dorso, arco, metatarso e dedos. Choklat (2012, p 33.) afirma que o dorso é a parte mais alta do pé, mas isso desconsidera o tornozelo que é a área da articulação entre o pé e a perna, mais especificamente entre o osso "*Tálus*" e os ossos "*Tíbia*" e "*Fíbula*". Como será mostrado posteriormente, no item "*fases da marcha*", a ação

de caminhar envolve principalmente os membros inferiores e também parte do torso. Os pés são as extremidades dos membros inferiores, os pontos de apoio do corpo sobre o solo, como este projeto é focado nos calçados, a descrição das estruturas anatômicas limitou-se a região poplíteia, sob os joelhos .

O sistema músculo-esquelético, representado na figura 3, é responsável pela sustentação e movimentação do corpo, os ossos são a parte mais interna e rígida, conectados entre si pelas articulações interósseas e os ligamentos. Os músculos envolvem os ossos e são mais maleáveis, visto que são passíveis de contração e relaxamento de acordo com os estímulos neurais. Mais externamente há o sistema tegumentar, também representado na figura 3; Este recobre todas as estruturas e é composto principalmente por pele, pelos e unhas (Santos, 2023). As estruturas analisadas para este projeto são ósseas, articulares e musculares, respectivamente.

Figura 3: Sistemas músculo-esquelético e tegumentar do pé humano

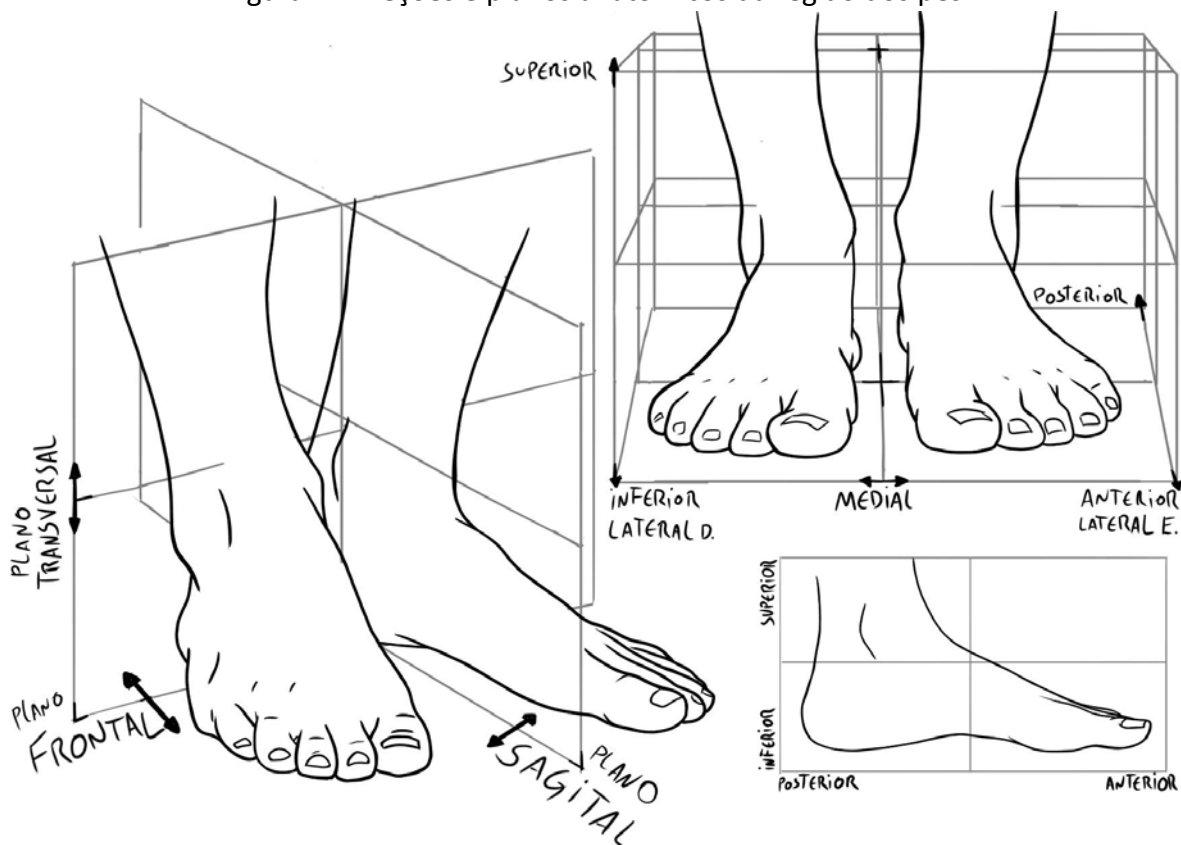


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os termos de direção anatômica, mostrados na figura 4, são importantes para a identificação das estruturas corporais, eles são divididos em três planos: Sagital, Frontal e Transversal (Figura 4). O plano Sagital é utilizado na identificação das estruturas em relação à linha mediana, linha imaginária localizada entre os olhos e os pés, dividindo, portanto, o corpo entre lado esquerdo e direito. A linha mediana determina também os termos “Lateral” e “Medial”, onde as estruturas mais próximas a essa linha são chamadas de

mediais e as estruturas mais afastadas dessa linha são chamadas de laterais, seja do lado esquerdo ou do lado direito. Para as estruturas que estão localizadas entre as regiões medial e lateral são usados os termos “Médio” e “Intermédio”. O plano Frontal, também chamado de “Coronal”, é utilizado na identificação das estruturas anteriores e posteriores. As estruturas denominadas “Anteriores” estão localizadas na parte frontal, região do ventre, e também são chamadas de “Ventrals”. As estruturas denominadas “Posteriores” estão localizadas na parte traseira, região do dorso, e também são chamadas de “Dorsais”. O plano “Transversal” segmenta o corpo horizontalmente, denominando as partes “Superiores” e “Inferiores”, sendo as superiores também chamadas de “Craniais”, por estarem mais próximas ao Crânio, e as inferiores são também chamadas de “Caudais”, por estarem mais próximas à Cauda. O plano transversal também é utilizado na identificação das regiões “Proximal” e “Distal” dos membros, onde a primeira refere-se às partes mais próximas do tronco e a segunda refere-se às partes mais distantes do tronco. Para identificar as estruturas localizadas entre as regiões “Proximal” e “Distal” o termo usado é “Médio” (Anatomia [...], 2014).

Figura 4: Direções e planos anatômicos da região dos pés.

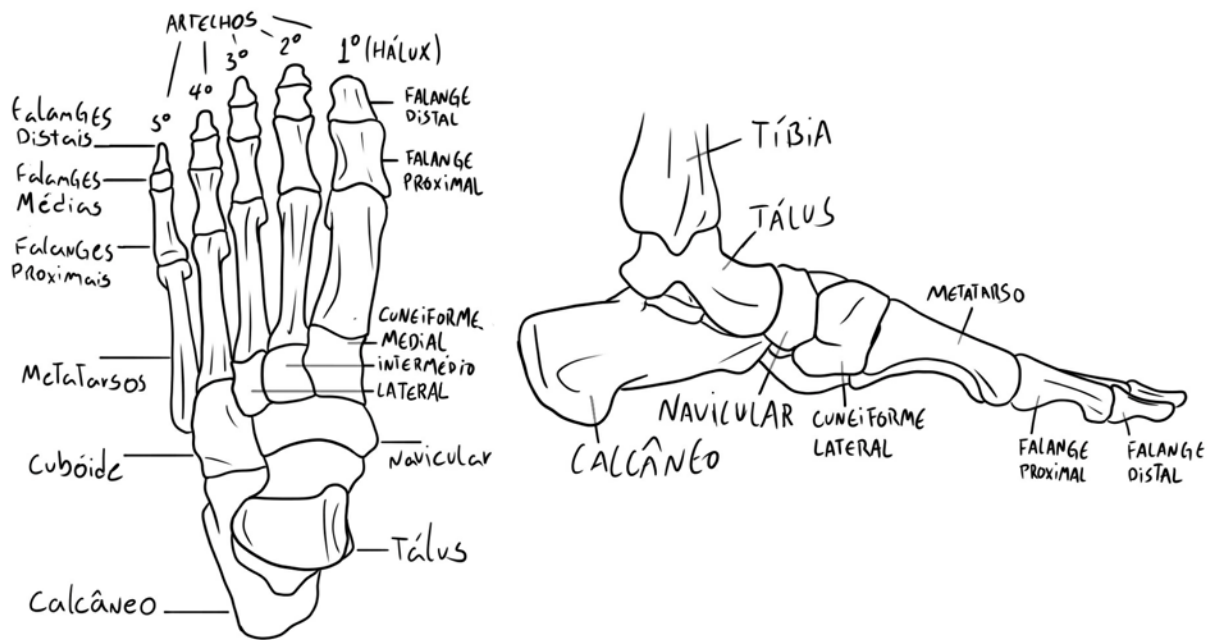


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ossos

O pé humano possui vinte e seis ossos que podem ser divididos em três grupos chamados: retropé, mediopé e antepé. Os ossos do pé estão ilustrados e identificados na figura 5, com adição da Tíbia na vista lateral. O retropé compreende os ossos Calcâneo e Tálus, são a parte posterior do pé, onde se articulam os osso da perna Tíbia e Fíbula, esses ossos se articulam mais especificamente com o Tálus, o qual é posicionado sobre o Calcâneo. O grupo do mediopé é formado por cinco ossos articulados direta ou indiretamente com o retropé, são eles Navicular, Cubóide e os três Cuneiformes: Medial, Intermédio e Lateral. O grupo do antepé possui mais ossos já que compreende a região dos dedos. Os cinco primeiros ossos são os Metatarsos, numerados de um a cinco sendo o primeiro metatarso correspondendo à região medial, interna, e o quinto metatarso corresponde a região lateral, externa. Os três primeiros metatarsos são articulados com os três Cuneiformes e o quarto e o quinto metatarso são articulados com o Cubóide. Cada metatarso corresponde a um dedo, portanto, são articulados cada um com uma falange proximal de cada dedo, sendo o primeiro metatarso articulado com o Hálux, que em sua porção distal possui duas protuberâncias ósseas, ou ossículos, denominados de Sesamóides que agem como uma polia para a movimentação dos ligamentos e tendões, e o quinto metatarso é articulado com o quinto artelho, o mais lateral. O Hálux possui apenas falanges Proximais e Distais, diferente dos outros quatro dedos que possuem uma falange Média entre a Proximal e a Distal (Minuto [...], 2019).

Figura 5: Ossos do pé: visão superior e medial

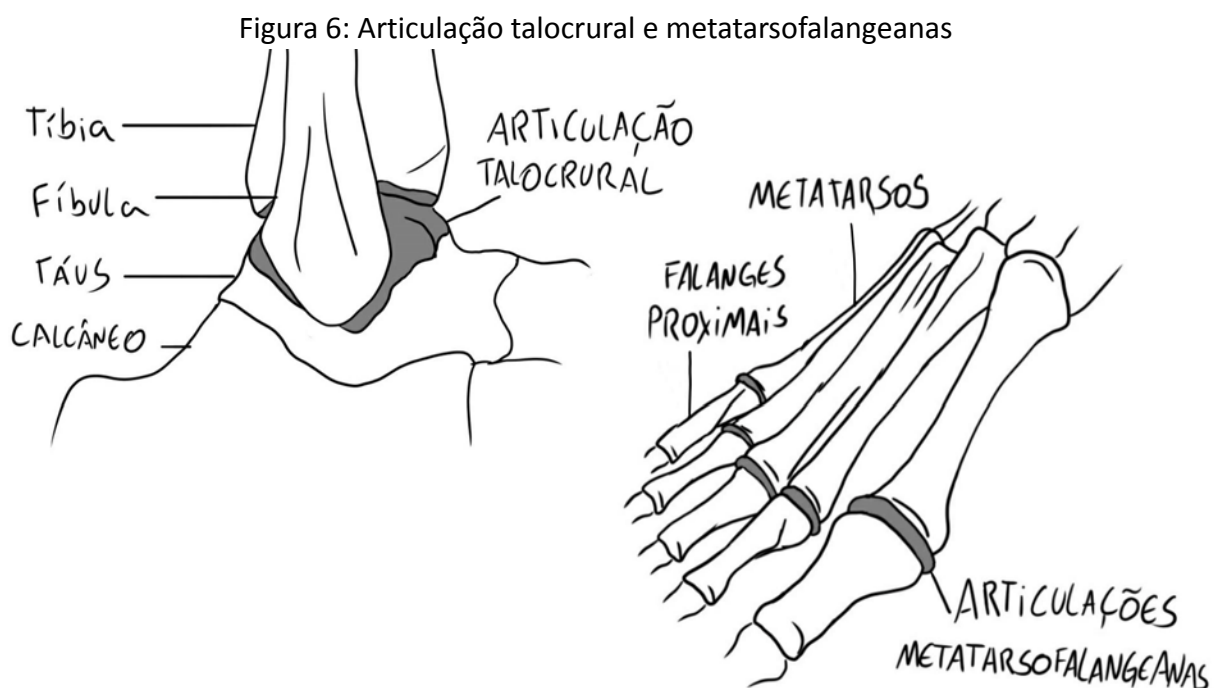


Fonte: Elaborado pelo autor.

Articulações

As articulações interósseas do pé totalizam trinta e três. A figura 6 apresenta duas articulações com grandes amplitudes de movimento que são fundamentais para a realização dos movimentos do pé: Talocrural e Metatarsofalangeanas. No tornozelo, entre os ossos Tíbia e Fíbula há uma articulação chamada Tibiofibular Distal. A articulação principal do tornozelo é chamada de Talocrural e articula os ossos Tíbia e Fíbula com o Tálus. Sob o Tálus há uma articulação com o Calcâneo chamada de Subtalar. Ainda no tálus há a articulação Talocalcaneonavicular que articula o Tálus com os ossos Navicular e Calcâneo. A última articulação do Tálus restante é a Talonavicular que articula os ossos Tálus e Navicular. O Calcâneo, além da articulação Subtalar e da Talocalcaneonavicular, possui uma articulação com o osso Cubóide, chamada Calcaneocubóidea. As articulações entre os ossos do Tarso são chamadas de Intertársicas. A articulação entre o Navicular e os três Cuneiformes é chamada de Cuneonavicular. A articulação entre o Cubóide e o Cuneiforme lateral é chamada de Cuneocubóidea e entre os Cuneiformes há as articulações intercuneiformes. A articulação Intercuneiforme Medial articula os ossos Cuneiforme Medial e Cuneiforme Intermédio, enquanto a articulação Intercuneiformelateral articula os ossos Cuneiforme Intermédio e Cuneiforme Lateral. Entre a região do Tarso e os Metatarsos há as articulações

Tarsometatarsicas, três estão entre os três Cuneiformes e os três primeiro Metatarsos e as duas últimas estão entre o Cubóide e o quarto e quinto metatarsos. Entre os Metatarsos e as falanges proximais há as articulações Metatarsofalangianas, totalizando cinco, uma para cada artelho incluindo o Hálux. Entre as Falanges estão as articulações Interfalangianas, apenas uma para o Hálux, entre as falanges Proximal e Distal, e duas articulações para cada artelho excluindo o Hálux, uma articulação entre a falange proximal e a falange média, articulação Interfalangiana Proximal, e uma articulação entre a falange média e a distal, articulação Interfalangiana Distal (Chegou [...], 2020).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Músculos

Os músculos responsáveis pela movimentação do tornozelo e do pé, representados de maneira esquemática na figura 7, iniciam-se inseridos na região proximal da Tíbia e da Fíbula, também chamada de Platô, onde há articulações com o joelho. Os músculos Extensores Curto e Longo do Hálux e também o Extensor Longo dos dedos são músculos alongados estão conectados em uma extremidade com a Tíbia e a Fíbula na região proximal e na outra extremidade são ligados às falanges distais dos dedos, passando pela região dorsal do pé, praticamente formando um arco de noventa graus. Na porção lateral há dois

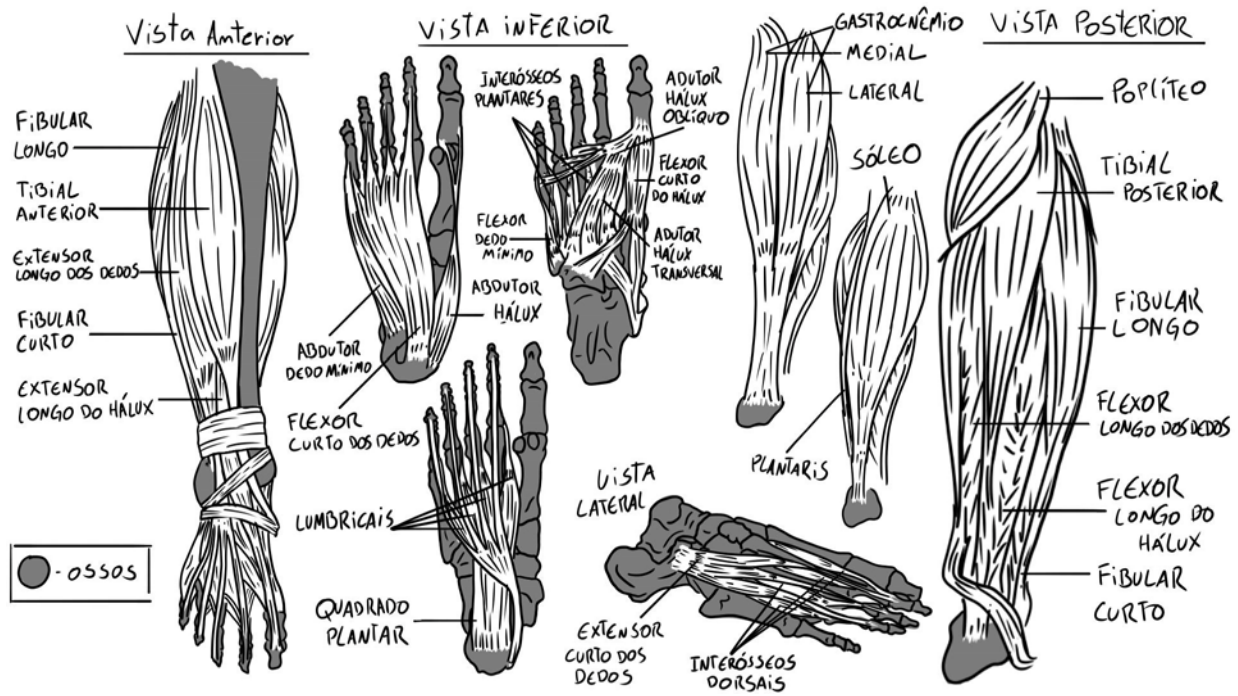
músculos também alongados que ligam a Fíbula à região da articulação entre o Cubóide e o quinto Metatarso, estes músculos são chamados de Fibular Curto, com origem na região média da Fíbula, e Fibular Longo, com origem na região proximal da Fíbula, ambos descem contornando a Fíbula e fazem um arco próximo a noventa graus sob o Maléolo lateral da Fíbula, na região distal do osso. Na porção posterior há um grupo de músculos mais interno e outro músculo maior que recobre este grupo. O grupo é formado pelos Flexores Longos do Hálux e dos dedos, o primeiro originado na região média da Fíbula e o segundo originado na região proximal da Fíbula, o outro músculo deste grupo interno é o Tibial posterior, originado na região proximal da Tíbia. Os músculos deste grupo estão ligados na outra extremidade à articulação Talonavicular, são músculos alongados que possuem um arco com curvatura próxima a noventa graus, passando pela região próxima ao Maléolo medial da Tíbia. Há dois músculos que cobrem este grupo, o Sóleo que é o mais interno entre os dois, originado na região proximal da tibia e inserido no Calcâneo, e o grande músculo, mais externo, que cobre este grupo é o Gastrocnêmio, um músculo alongado e relativamente mais largo que os outros, tem sua origem na região distal do Fêmur e a outra extremidade ligada à parte mais posterior do Calcâneo.

Na região dorsal do pé há um grupo de dois músculos extensores dos dedos, originados no Calcâneo e inseridos nas falanges. O Extensor Curto do Hálux é inserido na falange proximal do Hálux e o Extensor Curto dos dedos é inserido nos tendões dos extensores longos do segundo, terceiro e quarto dedo. Na região plantar, com origem no Calcâneo há o Abdutor do dedo mínimo, na porção lateral inserido na falange proximal do dedo mínimo, e o Abdutor do Hálux na porção medial inserido na falange proximal do Hálux. Na porção média da região plantar há os músculos Flexores Curtos dos dedos originados no Calcâneo e inseridos nas falanges intermédias do segundo ao quinto dedo, excluindo o Hálux. Ainda na região plantar, mais internamente do que o Flexor Curto dos dedos há o Quadrado Plantar, com origem no Calcâneo e inserção nos tendões do Flexor Longo dos dedos, o Flexor Curto do Hálux originado no Cubóide e no Cuneiforme Lateral que é inserido na falange proximal do Hálux.

Seguindo na região plantar, na face medial dos quatro metatarsos laterais, há os músculos chamados Lumbricais, originados no tendão do Flexor Longo dos dedos e inseridos no tendão Extensor Longo dos dedos e nas falanges proximais do segundo ao quinto dedo. Um pouco mais internamente que os Lumbricais há o Adutor do Hálux porção Oblíqua,

originado no ligamento plantar Longo e inserido na falange proximal do Hálux e também há o Adutor do Hálux porção Transversa, originado nas articulações Metatarsofalangeanas do segundo ao quinto dedo e inserido no tendão do Flexor Curto do Hálux. Com origem no Cubóide e Inseridos na Falange Proximal do quinto dedo e na extremidade distal do quinto Metatarso, respectivamente encontram-se os músculos Flexor Curto do dedo Mínimo e Oponente do dedo Mínimo. Por fim há os músculos Interósseos Dorsais e Interósseos Plantares, os dorsais com origem nos ossos Metatársicos e inseridos nas Falanges Proximais do segundo ao quarto dedo e nos tendões dos Extensores Curtos dos dedos, o segundo é originado nas regiões mediais do terceiro ao quinto Metatarso e inserem-se na região medial das Falanges Proximais do terceiro ao quinto dedo (Anatomia [...], 2017).

Figura 7: Músculos do tornozelo e pé



Fonte: Elaborado pelo autor.

Classificações dos pés

Diferentes autores¹ utilizam características de áreas específicas dos pés para classificá-los em grupos com características similares, as principais classificações encontradas são feitas observando a anatomia do arco plantar e a proporção do comprimento entre os dedos do mesmo pé. Este tópico apresenta as classificações e suas

¹ Berwanger, 2008; Pés Sem Dor, 2023; Costa, C., 2013; Bugin, 2016.

características, bem como dados sobre a incidência das classificações quanto ao comprimento dos dedos e dos músculos responsáveis por auxiliar na formação dos arcos plantares longitudinais e transversais.

Dedo mais longo

Berwanger (2008) afirma que é comum a classificação dos pés de acordo com o comprimento dos dedos e aponta os tipos pé egípcio, pé grego e pé com o segundo e terceiro dedos iguais, para a Pés Sem Dor (2023) este tipo de pé é classificado como pé romano, a empresa também acrescenta dois tipos à classificação: pé celta e pé alemão. As 5 classificações de pé quanto ao formato dos dedos são apresentadas e identificadas na figura 8. A Pés Sem Dor (Case, 2012) realizou uma pesquisa e pediu para os respondentes classificarem os seus respectivos pés entre os cinco tipos mencionados. A pesquisa apontou que a frequência dos tipos egípcio, grego e romano é de mais de noventa e sete por cento das pessoas, enquanto os tipos celta e alemão se dividiram entre a porcentagem restante, três por cento. Dentre os três mais comuns o egípcio é o que obteve maior número de respondentes, próximo dos quarenta por cento, esse tipo de pé é caracterizado por possuir o Hálux como dedo mais longo e os dedos laterais seguem decrescendo gradualmente em direção ao dedo mínimo.

O pé romano se caracteriza pelo igual comprimento dos segundo e terceiro dedos, podendo este comprimento ser maior ou igual ao comprimento do Hálux, este tipo de pé abrange cerca de trinta por cento dos respondentes da pesquisa. O pé do tipo grego apresenta-se também em cerca de trinta por cento dos respondentes e caracteriza-se por possuir o segundo dedo mais longo do que os outros, inclusive o Hálux, os demais dedos laterais seguem em decrescência gradual em direção ao quinto dedo, o dedo mínimo. O pé alemão, correspondente a cerca de um e meio por cento dos respondentes, é caracterizado por possuir o Hálux como dedo mais longo e os quatro dedos laterais possuem comprimento igual entre eles. O pé celta, também correspondente a cerca de um e meio por cento das respostas, é caracterizado por possuir o segundo dedo mais longo, o terceiro dedo um pouco mais curto e o Hálux ainda mais curto que o terceiro, o quinto dedo é o mais curto sendo o quarto um pouco mais longo que o quinto, porém consideravelmente mais curto que o terceiro. Os números aqui apresentados são aproximados aos presentes na pesquisa, devido a diferenciação da amostra entre homens e mulheres. Vale ressaltar que entre as

mulheres prevaleceu o pé do tipo egípcio, enquanto entre os homens prevaleceu o pé do tipo romano, com o pé de tipo grego obteve uma distribuição mais igualitária entre ambos gêneros.

Figura 8: Classificação dos pés quanto ao formato dos dedos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Arcos plantares

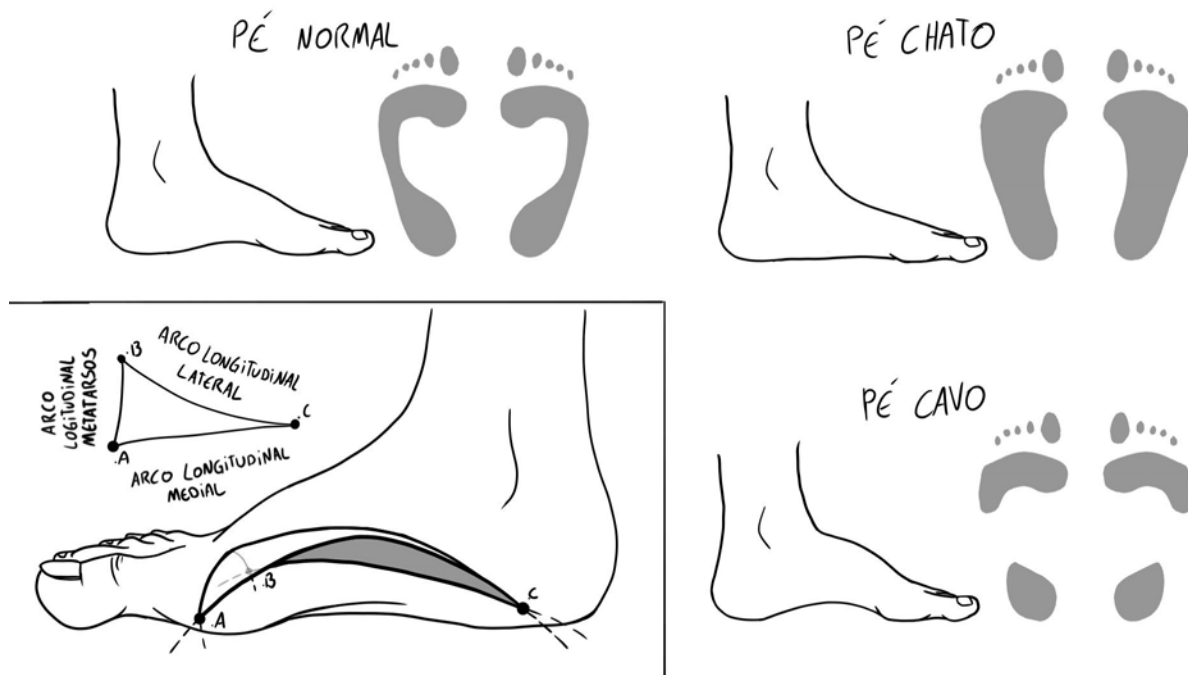
Berwanger (2008) define os arcos do pé como estruturas elásticas, dinâmicas e deformáveis por ação externa. Sustentados por uma estrutura de músculos e ligamentos, os arcos são responsáveis por amortecer os impactos decorrentes dos passos durante o ciclo de marcha. O autor diz que é comum caracterizar os arcos longitudinais em interno (medial), externo (lateral) e os transversais são caracterizados como arco dos metatarsos e transversal do tarso, mesmo que muitos pés ao serem seccionados não apresentem o formato de um arco propriamente. Quanto aos arcos longitudinais, uma vez que partem todos do Calcâneo em direção às regiões distais dos Metatarsos, Perice (1986, *Apud*. Berwanger 2008, p.8), afirma que os arcos longitudinais são 5, todos convexos e cada um corresponde a um Metatarso e decrescem de altura do mais interno para o mais externo, ou seja, o arco do primeiro metatarso é o mais elevado e o arco do quinto metatarso é o mais baixo.

Berwanger (2008) afirma que os arcos plantares longitudinais são comumente utilizados para caracterizar os pés e podem ser visualizados através da impressão plantar, a pegada, ou seja, as marcas mais ou menos profundas provocadas pela pressão exercida em cada ponto de apoio dos pés. Ele aponta as classificações mais comuns como arco plantar médio, arco plantar alto e arco plantar baixo (figura 9), porém na pesquisa feita pela

empresa Pés Sem Dor (CASE, 2012) os pés são classificados quanto aos arcos como pé normal, pé cavo, pé muito cavo, pé chato e pé muito chato. Esta pesquisa relatou uma predominância do pé normal com mais de cinquenta e seis por cento dos respondentes, seguido pelo pé cavo com mais de vinte e um por cento dos respondentes e pelo pé classificado como chato, com mais de quinze por cento das respostas. Os pés classificados como muito cavos ou muito chatos são menos frequentes e apareceram em apenas seis por cento das respostas, com uma leve superioridade do tipo muito cavo. Voltando para a classificação de Berwanger (2008) o pé normal, ou que apresenta o arco plantar médio é marcado pelo apoio no calcanhar, nos arcos mais laterais, na porção distal dos metatarsos e nos dedos. O pé cavo, ou com arco plantar alto, apresenta o dorso do pé alto e é marcado pelo apoio no calcanhar, na porção distal dos metatarsos e nos dedos.

O pé chato, ou com arco plantar baixo, apresenta o dorso do pé baixo e é marcado pelo apoio em quase toda a planta do pé e nos dedos. A figura 9 apresenta os pés com as classificações normal, chato e cavo. Os principais músculos que auxiliam na formação dos arcos plantares longitudinais são o Abdutor do Hálux, Abdutor do dedo mínimo, Flexor Curto dos dedos, Quadrado Plantar, Flexor Curto do Hálux, Adutor do Hálux porção Oblíqua, Lumbricais, Flexor Curto do dedo mínimo, Oponente do dedo mínimo, Interósseos plantares e Interósseos dorsais. Visto que os arcos transversais são secções transversais dos arcos longitudinais, todos os músculos que auxiliam na formação dos arcos longitudinais também auxiliam na formação dos arcos transversais, com destaque para a região do Quadrado Plantar, onde se caracteriza o arco transversal do Tarso. A formação do arco dos metatarsos é auxiliada principalmente pelo músculo Adutor do Hálux porção Transversa. Os músculos do pé contraem e relaxam, fletindo e estendendo ou aduzindo e abduzindo para responder às ações externas, promover movimentos e absorver impactos.

Figura 9: Arcos plantares e Classificação dos pés quanto a elevação do arco plantar longitudinal medial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Alterações Fisiológicas e Patológicas

Além das características anatômicas herdadas biológica ou geneticamente, os pés estão sujeitos a alterações causadas principalmente por fatores externos. Um dos fatores externos que podem alterar o formato dos pés é a utilização de calçados inadequados, ou projetados para um padrão de público diferente do usuário factual, durante um longo período repetidamente. Esta situação reforça a necessidade de compreensão da anatomia dos pés e suas variações para a concepção de calçados adequados. As alterações apresentadas neste tópico são os Joanetes e dedos em garra, martelo ou sobrepostos, conforme mostra a figura 10. Vale ressaltar que ambas alterações descritas a seguir são localizadas na região anterior do pé, próximo aos dedos.

Figura 10: Deformações e alterações nos dedos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Joanete

O joanete, popular para Hálux valgo, é uma deformidade que ocorre na região metatarsofalângiana do primeiro dedo, caracterizada pela inclinação da falange proximal do Hálux em direção a porção lateral do pé, ou valgismo. Berwanger (2008) aponta que os pés do tipo egípcio possuem maior incidência de problemas como desvio do dedo grande, joanetes e rigidez na primeira articulação metatarsofalângiana. A pesquisa da empresa Pés Sem Dor (Case, 2012) questionou os respondentes quanto ao grau de deformidade referente ao joanete do primeiro dedo, sendo o grau um representando a ausência da deformidade e o quinto grau possuindo uma deformidade muito severa. No geral as mulheres apresentaram uma média maior de deformidade, 2,34, em relação aos homens que obtiveram média de 2,21. A deformidade de grau dois representou mais de setenta e seis por cento dos respondentes, o grau três representou mais de dezessete por cento, o grau quatro mais de cinco por cento e o grau mais severo de deformidade, quinto grau, representou apenas um por cento dos respondentes.

Dedos em garra, martelo ou sobrepostos

A pesquisa de Case (2012) pediu para que os respondentes indicassem se possuem alguma das seguintes deformidades: dedos em garra, dedos em martelo ou dedos sobrepostos. Quase dezesseis por cento dos respondentes indicaram possuir dedos em garra

ou martelo e mais de dezessete por cento indicaram possuir dedos sobrepostos. Os dedos em garra apresentam a articulação metatarsofalangiana em extensão e as articulações interfalangianas flexionadas. Os dedos em martelo apresentam a articulação metatarsofalangiana em leve extensão, a articulação interfalangiana proximal flexionada e a última articulação, a interfalangeana distal, em extensão. Os dedos sobrepostos caracterizam-se pela sobreposição de um dedo ao outro e podem ocorrer pela utilização de sapatos que não respeitam o formato dos pés, comprimindo um dedo contra o outro.

Antropometria

As análises quanto à antropometria compreendem os conceitos de Antropometria Dinâmica, Funcional e Estática, como definido por Lida (2005), e suas aplicações no âmbito dos calçados. A antropometria dinâmica consiste nos movimentos de alavanca realizados pelo tornozelo e dedos dos pés. A antropometria funcional descreve os pontos de apoio dos pés e dos movimentos de marcha. Quanto à antropometria estática foram obtidas informações sobre os sistemas de medidas tradicionais, os pontos para medição com fita métrica, bem como possíveis métodos para obtenção das medidas em duas e três dimensões (2D e 3D).

Antropometria Dinâmica

Antropometria dinâmica, segundo Lida (2005), é a medição dos movimentos corporais de partes do corpo isoladas, enquanto se mantém o restante do corpo parado. Neste tópico são analisados os movimentos dos tornozelos, dos pés e também dos dedos dos pés; Estes movimentos são fundamentais para a tarefa de marchar, a qual os calçados devem auxiliar na realização.

Movimentos de Alavanca

Definido por Lida (2005), os movimentos de alavanca são definidos por uma ação complementar de dois grupos de músculos opostos, como bíceps e tríceps ou abdômen e lombar. Enquanto um grupo é contraído, o outro está relaxado e vice-versa.

Os movimentos do pé e tornozelo expostos a seguir descrevem os músculos contraídos para a realização dos movimentos de alavanca, nesse sentido os movimentos

opostos, como exemplos temos flexão dorsal ou plantar e flexão ou extensão dos dedos, representam o grupo de músculos relaxados durante o movimento.

- *Flexão dorsal*

O movimento de dorsiflexão consiste em elevar a parte anterior do pé em relação à posição neutra, os três músculos contraídos para a realização deste movimento são Tibial Anterior, Extensor Longo dos dedos e Extensor Longo do Hálux (Movimentos [...], 2018). Berwanger (2008) aponta que o ângulo de rotação limite da flexão dorsal é de vinte graus em relação a um eixo transversal perpendicular à Tíbia.

- *Flexão plantar*

A Flexão plantar é o movimento oposto à flexão dorsal, neste movimento a parte anterior do pé é abaixada em relação à posição neutra, os oito músculos que tem a ação de contração para realizar este movimento são Gastrocnêmio, Plantar, Sóleo, Fibular Longo, Fibular Curto, Flexor Longo dos dedos, Flexor Longo do Hálux e Tibial Posterior (Movimentos [...], 2018). A flexão plantar segundo Berwanger (2008) é limitada a um ângulo de rotação de cinquenta graus em relação a um eixo transversal perpendicular à Tíbia. De acordo com lida (2005) o movimento de plantiflexão compreende um ângulo de até trinta e cinco graus em relação à posição normal.

- *Inversão*

A inversão é o movimento que eleva a porção medial do pé enquanto a porção lateral é abaixada, Berwanger (2008) define este movimento como a orientação da planta do pé para dentro, em direção a porção medial do corpo. Os 5 músculos que contraem para a realização do movimento de inversão do pé são Tibial Anterior, Extensor Longo do Hálux, Flexor Longo do Hálux, Tibial Posterior e Flexor Longo dos dedos (Movimentos [...], 2018). lida (2005) atribui a esse movimento a amplitude máxima de trinta e cinco graus.

- *Eversão*

Eversão é o movimento oposto à Inversão, neste movimento a porção lateral do pé é elevada, enquanto a porção medial é abaixada, Berwanger (2008) define este movimento como a orientação da planta do pé para fora, em direção à porção lateral do corpo. Os três

músculos contraídos para a realização deste movimento são: Extensor Longo dos dedos, Fibular Longo e Fibular Curto (Movimentos [...], 2018). Para lida (2005) a amplitude total deste movimento não deve ultrapassar os vinte e cinco graus.

- *Abdução*

A Abdução é um movimento do tornozelo em relação ao plano sagital, neste movimento o antepé é levado em direção a região lateral, ou seja, para fora. (Escobar, 2019). Os principais músculos contraídos para a realização deste movimento, segundo a Escola Estadual de Educação Profissional, EEEP (Ceará, 2010), são: Fibular Curto e Fibular Longo. Para lida (2005) a amplitude máxima deste movimento é de apenas cinco graus.

- *Adução*

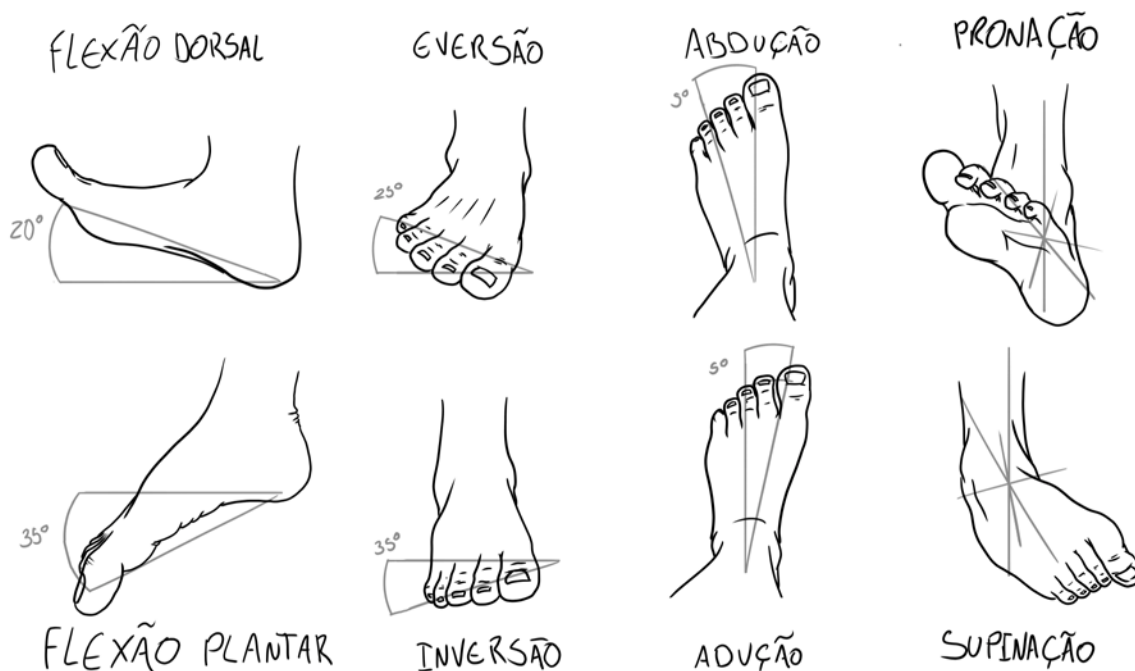
A Adução é um movimento do tornozelo em relação ao plano sagital, neste movimento o antepé é levado em direção a região medial, ou seja, para dentro. (ESCOBAR, 2019). Os principais músculos contraídos para a realização deste movimento, segundo a EEEP (Ceará, 2010), é o Tibial anterior. Para lida (2005) a amplitude máxima deste movimento é de apenas cinco graus.

- *Supinação e Pronação*

Segundo o professor Guanis de Barros Vilela Júnior (2017) os movimentos do pé: Pronação e Supinação; são considerados triplanares, visto que são uma conjunção de três movimentos em relação a planos distintos. A Pronação refere-se a execução dos seguintes três movimentos: dorsiflexão, eversão e abdução. A supinação refere-se a execução dos três movimentos opostos aos executados na Pronação: flexão plantar, inversão e adução.

Os movimentos do tornozelo são representados na figura 11.

Figura 11: Movimentos do Tornozelo



Fonte: Elaborado pelo autor.

- *Flexão e extensão dos dedos*

O movimento de flexão faz os dedos do pé dobrarem para baixo nas articulações Metatarsofalangianas e também entre as falanges proximal e distal, no caso do Hálux, proximal e média; e média e distal, no caso dos outros quatro dedos. A flexão do Hálux é feita através da contração dos músculos: Flexor Longo dos dedos, Abductor do Hálux, Flexor Curto do Hálux. A flexão do dedo mínimo é feita através do Flexor Longo dos dedos, Abductor do dedo mínimo, Quadrado Plantar, Lumbricais, Flexor do dedo mínimo, Interósseos Plantares e Interósseos Dorsais. A flexão dos três dedos centrais é promovida pela contração dos músculos: Flexor Longo dos dedos, Flexor Curto dos dedos, Quadrado Plantar, Lumbricais, Interósseos Plantares e Interósseos Dorsais (Vídeo [...] 2017).

A amplitude articular de flexão do hálux é de quarenta e cinco graus na articulação metatarsofalângica e de noventa graus na articulação interfalângica, enquanto que a amplitude articular de flexão dos demais quatro dedos é de quarenta graus nas articulações metatarsofalângicas e de trinta e cinco e sessenta graus nas articulações interfalângicas proximais e distais, respectivamente (ACE Gestão de saúde, 2016).

O movimento de extensão faz os dedos do pé esticarem e apontarem para cima, a articulação Metatarsofalangiana rotaciona as falanges proximais dos dedos enquanto as

outras falanges se estendem, fazendo com que os dedos fiquem em posição quase reta. Para extensão do Hálux, os músculos contraídos são o Extensor Longo dos dedos e o Extensor Curto do Hálux. Os músculos contraídos para a extensão dos quatro dedos laterais são: Extensor Longo dos dedos, Lumbricais, Extensor Curto dos dedos (Vídeo [...] 2017).

A amplitude articular de extensão do hálux é de noventa graus na articulação metatarsofalângica, enquanto que a amplitude articular de extensão dos demais quatro dedos é de quarenta e cinco graus nas articulações metatarsofalângicas.

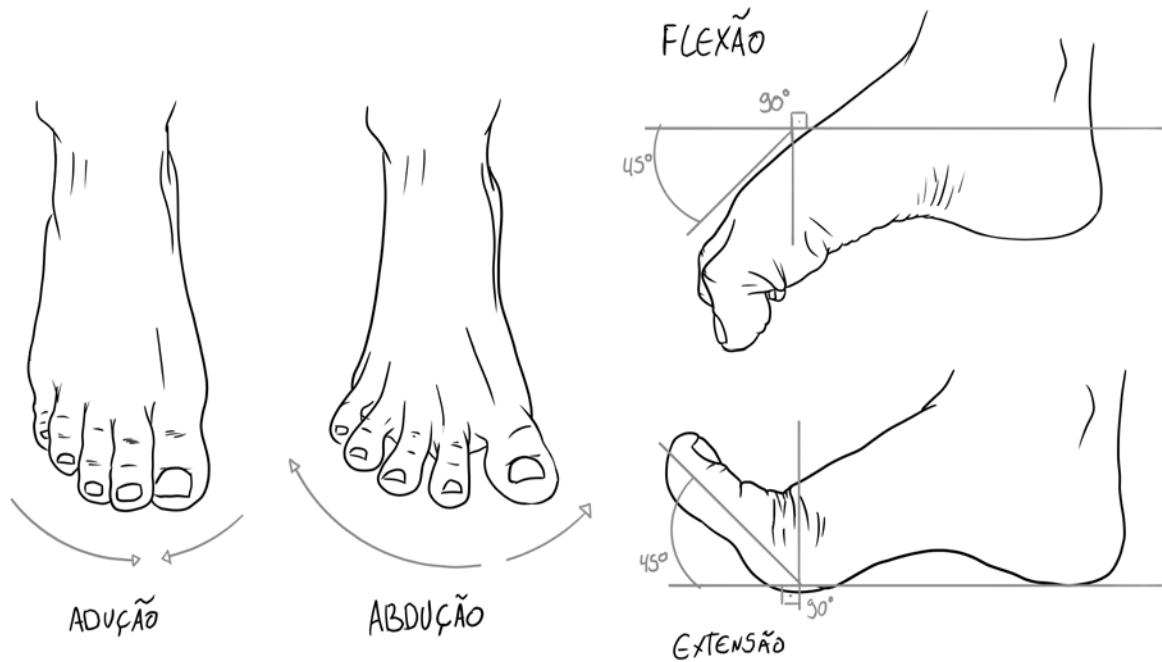
- *Adução e Abdução dos dedos*

A adução é o movimento de aproximar as falanges dos diferentes dedos lateralmente, o Hálux possui maior capacidade de realizar esse movimento quando comparado com os outros quatro dedos laterais por conta do tamanho do músculo responsável pelo movimento. O músculo responsável pela adução do Hálux é o Adutor do Hálux e possui duas partes: porção Oblíqua e porção Transversa. Os músculos responsáveis pela adução dos quatro dedos laterais são os interósseos plantares.

O movimento de abdução consiste em afastar as falanges dos dedos lateralmente. O Hálux e o dedo mínimo possuem maior capacidade para realizar este movimento quando comparado com os três dedos médios, por conta do tamanho dos músculos responsáveis pelas suas respectivas abduções, que são o Abdutor do Hálux e o Abdutor do dedo mínimo. Enquanto que para a Abdução dos três dedos médios é realizada pela contração dos músculos Interósseos Dorsais (Vídeo [...] 2017).

A figura 12 mostra os movimentos dos dedos: Adução e Abdução; Flexão e Extensão.

Figura 12: Movimentos dos Dedos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Antropometria Funcional

A antropometria funcional está ligada à execução de uma tarefa; De acordo com Iida (2005), esta se aplica quando há movimentos corporais simultâneos conjugados para a realização de uma tarefa, fazendo com que os alcances se modifiquem em relação aos medidos pela antropometria dinâmica. O autor exemplifica (Iida, 2005. p. 123) que o alcance total do braço pode ser aumentado quando combinado com a inclinação do tronco.

Neste tópico buscou-se identificar os movimentos funcionais para a realização da tarefa de caminhar, como as fases da marcha, os pontos de apoio e distribuição da pressão plantar.

Pontos de apoio do pé

Berwanger (2008) afirma que a distribuição da carga do peso do corpo humano sobre os pés é diretamente influenciada pela altura do salto e varia basicamente entre o calcanhar e o arco dos metatarsos. Sem salto sob os calcanhares, em posição ereta e distribuindo o peso corporal entre os dois pés, o Calcâneo recebe cinquenta e sete por cento da carga, enquanto o arco dos metatarsos recebe os outros quarenta e três por cento. O autor discorre que embora haja algumas divergências, as opiniões dos especialistas tendem a convergir para a recomendação de saltos com altura de dois centímetros como ideal, nessa

configuração a distribuição da carga sobre os pés é feita de forma igual entre o Calcâneo e o arco dos Metatarsos. Com um salto de quatro centímetros a proporção é invertida em relação à distribuição relativa a ausência de salto sob os calcanhares, ficando cinquenta e sete por cento da carga apoiada sobre o arco dos metatarsos e o restante apoia-se sobre os calcanhares. Ao acrescentar mais dois centímetros, agora com o salto totalizando seis centímetros, a distribuição da carga passa para três quartos sobre os metatarsos e apenas um quarto do peso apoiado sobre os calcanhares. Ao analisar um salto de dez centímetros, o autor aponta que a razão da distribuição da carga do peso sobre o pé é de noventa por cento ou mais para a região anterior, arco dos metatarsos, e dez por cento ou menos apoia-se sobre a parte posterior, o calcanhar ou Calcâneo.

Fases da marcha

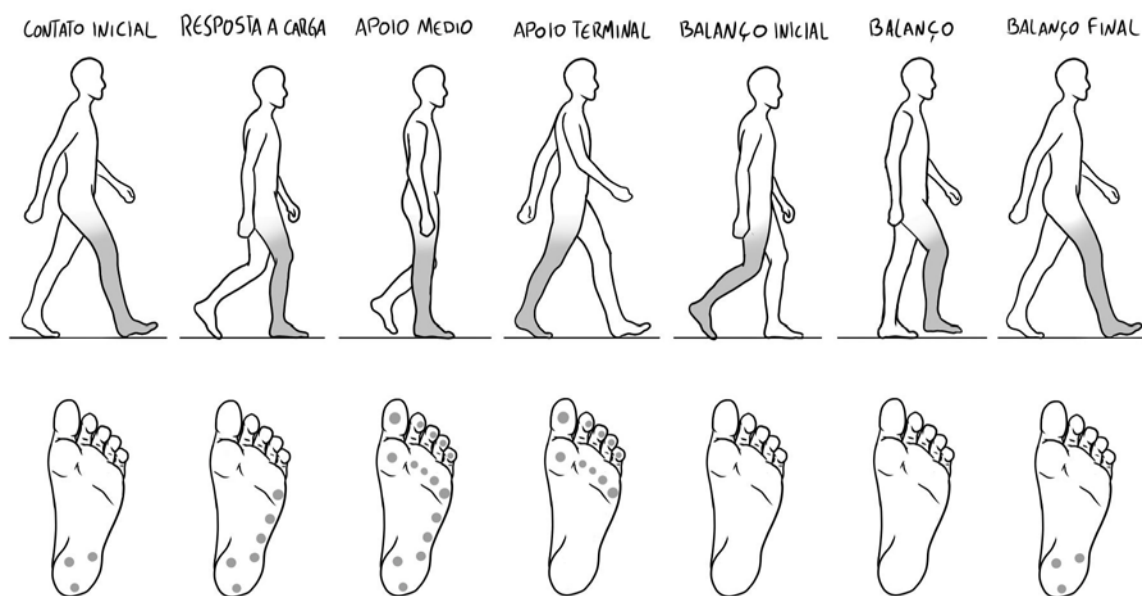
Ao analisar o ciclo da marcha humana é possível identificar três diferentes fases, o apoio duplo pode ser considerado o ponto de partida e acontece quando os dois pés estão apoiados no solo ao mesmo tempo. A próxima fase no ciclo é o balanço onde um membro oscila no ar enquanto o outro está apoiado no solo, iniciando o movimento de progressão para alcançar um ponto de apoio mais à frente. Esta fase é subdividida em outras três partes: balanço inicial, balanço médio e balanço terminal. O balanço inicial é o momento em que o pé deixa de tocar o solo totalmente, no balanço médio os dois membros encontram-se alinhados e no balanço final o pé está prestes a fazer contato com o solo novamente, retornando à fase de apoio duplo.

Enquanto um membro está em fase de balanço o outro está em fase de apoio único, ou unipodálico, e esta fase é subdividida em cinco etapas: Contato inicial; Resposta a Carga; Apoio médio; Apoio Terminal; e Pré Balanço. O contato inicial é quando o calcanhar faz o primeiro contato com o solo, a resposta a carga é o momento em que a planta do pé está apoiada no chão e o peso do corpo é transferido para o membro apoiado. Na etapa de apoio médio o peso já está apoiado sobre o membro que é estendido para iniciar a propulsão que será finalizada na etapa de apoio terminal, quando o calcanhar deixa o solo fazendo com que o ponto de contato do pé com o solo seja a região metatarsofalangiana, promovendo a extensão dos dedos, até que a fase de apoio único seja finalizada com a etapa de pré balanço, quando os dedos deixam de tocar o solo enquanto o outro membro realiza o

contato inicial, ocorrendo um duplo apoio antes do membro passar para a fase de balanço, completando o ciclo. (Biomecânica [...], 2018).

A figura 13, apresentada a seguir, foi elaborada pelo autor para ilustrar as fases da marcha descritas anteriormente complementadas pelos pontos de distribuição plantar (porção inferior da figura 13), os quais são discutidos no parágrafo seguinte.

Figura 13: Fases da marcha e pontos de distribuição plantar



Fonte: Elaborado pelo autor.

Kohan (2021) apresenta uma divisão da distribuição plantar em quinze áreas segmentadas entre o calcanhar, o arco, os metatarsos e os dedos. O ponto número 1 (um) corresponde à parte mais posterior do calcanhar, o número 2 (dois) corresponde a uma área mais anterior do calcanhar, próximo a região medial, e o terceiro ponto corresponde a uma área um pouco mais anterior que o segundo, porém localizado na região lateral. Os pontos 4 (quatro) e 5 (cinco) correspondem à região mais estreita da distribuição plantar, na parte lateral. Os pontos de 6 (seis) a 10 (dez) representam o apoio dos metatarsos, sendo o ponto 6 correspondente ao quinto metatarso, região lateral, enquanto que o ponto número 10 representa o primeiro metatarso, na região medial. Os pontos de 11 (onze) a 15 (quinze) representam o apoio dos dedos do pé, sendo o ponto 11 correspondente ao dedo mínimo e o décimo quinto ponto representa o Hálux.

Berwanger (2008) diz que muitas podem ser as variáveis observadas sobre a marcha humana e expõe três classificações de acordo com o posicionamento dos pés em relação a uma linha de progressão imaginária traçada entre eles. O autor diz que a marcha pode ser aberta, com a porção anterior dos pés levemente anguladas em direção às regiões laterais, pode ser uma marcha em paralelo, com ambos pés apontando para frente, em paralelo, e o terceiro tipo é a marcha considerada fechada, em oposição à marcha aberta, ela se caracteriza pelos pés tendo suas porções anteriores levemente apontadas para a região medial.

Ao analisar a biomecânica da marcha, Sousa e Tavares (2010) expõem que a marcha resulta de uma complexa relação entre os sistemas esquelético, muscular, articular e neural. Os autores afirmam que são duas as principais teorias que regem o estudo da marcha, a teoria do pêndulo invertido e os seis determinantes da marcha. A primeira faz analogia a um pêndulo e está mais relacionada a uma troca de energia cinética e potencial, onde o centro de massa oscila como um pêndulo invertido de acordo com o membro em fase de apoio. A segunda, Teoria dos seis determinantes da marcha, descreve seis mecanismos que determinam o padrão da marcha: Rotação pélvica; Inclinação da pélvis; Flexão do joelho na fase de apoio unipodálico; Pé e Joelho; Deslocamento lateral da pélvis. A rotação da pélvis ocorre para os dois lados, a cintura pélvica gira alternadamente em relação a linha de progressão. A inclinação da pélvis ocorre para o lado oposto ao do membro de apoio, como o outro membro está em fase de balanço, a gravidade faz com que a pélvis seja inclinada de forma descendente para o lado do membro suspenso.

A flexão de joelho na fase de apoio unipodálico representa dois quintos do ciclo de marcha e é responsável pela passagem do peso entre um membro e outro. O membro a ser apoiado no chão encontra-se com o joelho estendido até a hora do primeiro contato do calcanhar com o solo, a partir desse contato o joelho é flexionado, iniciando a fase de apoio, novamente estendido e então termina a fase de apoio com uma nova flexão, iniciando a fase de balanço do membro. Pé e Joelho possuem uma relação muito próxima, com flexões e extensões simultâneas coordenadas para o início e o fim da fase de apoio do membro. O primeiro movimento determinante de marcha para essas estruturas é o arco formado pelo contato do calcanhar com o solo, neste momento o pé que irá iniciar a fase de apoio encontra-se levemente em dorsiflexão e inicia uma flexão plantar, junto com uma supinação suave devido ao formato das tuberosidades do osso Calcâneo, até que o calcanhar e a lateral

do pé estejam totalmente apoiados no chão. O segundo movimento determinante de marcha no pé corresponde ao arco formado pelo movimento do antepé, entre os metatarsos e as falanges proximais e está relacionado ao final da fase de apoio e à propulsão (Sousa; Tavares, 2010).

Para a Pés Sem Dor, segundo vídeo publicado em 2016, neste momento o pé apoiado no solo inicia uma flexão plantar junto com uma pronação suave até que somente o antepé esteja apoiado no solo com os dedos estendidos até que o membro inicie a fase de balanço. (Você [...], 2016).

Ainda na análise de Sousa e Tavares (2010), o último movimento determinante de marcha é o deslocamento lateral da pélvis e corresponde ao deslocamento lateral sofrido pela pélvis em relação ao eixo vertical, a pélvis se desloca levemente para o lado do membro em fase de apoio.

Antropometria Estática

A antropometria estática, segundo Iida (2005), é a medição do corpo parado ou levemente movimentado, realizada em pontos específicos da anatomia humana. De acordo com o autor, os métodos para obtenção das medidas podem ser classificados como diretos ou indiretos, de acordo com o instrumento utilizado na captação e se ele entra em contato diretamente com o corpo analisado. Dentre os instrumentos utilizados para a medição direta, o autor (Iida, 2005) cita réguas, trenas, fitas métricas, paquímetros, esquadros e até raios laser. Quanto à medição indireta, o autor afirma que estas normalmente envolvem fotos do corpo, ou de partes dele, sobre uma malha quadriculada e que atualmente é possível que imagens digitais sejam associadas a métodos computacionais.

Neste capítulo são apresentados os principais métodos, diretos e indiretos, para medição e obtenção da anatomia dos pés, indispensáveis para a concepção de um calçado.

Sistemas de Medidas Tradicionais

Berwanger (2008) define os sistemas de medidas como um conjunto de padrões que são utilizados para determinação dos dados técnicos das formas e calçados produzidos e também das numerações direcionadas ao consumidor final. Este autor defende que os pés humanos são o objeto principal de estudo de um sistema de medidas e as formas são responsáveis por representá-los no processo de confecção de calçados. De forma prática os

sistemas de medidas estabelecem a diferença de um número de forma para outro, seguindo as mesmas proporções em escala progressiva ou regressiva.

Dentre as muitas variáveis mensuráveis sobre as formas e os próprios calçados, Berwanger (2008) estabelece o comprimento e o perímetro como imprescindíveis para o entendimento dos sistemas de medidas e que as demais são obtidas à partir delas com variações em função do desenho do modelo e/ ou do calce pretendido. O comprimento, por sua vez, pode ser classificado como comprimento total e real da palmilha e comprimento da forma. A medida do comprimento representa a distância entre as extremidades do bico e do calcanhar de maneira linear e longitudinal, a diferença dos comprimentos real e total da palmilha é denominada “suplemento” e trata-se de uma medida adicionada ao bico para proporcionar conforto e também age como componente estético. Já o comprimento da forma inclui a curvatura do calcanhar, que segundo o autor possui uma medida variando entre três e cinco milímetros (5 mm), e pode ser ainda mais distinta do comprimento real da palmilha devido à curvaturas diferenciadas ou alongamentos no bico dos calçados. Quanto ao perímetro da forma, este é medido na região que representa a largura metatarso-falangeana dos pés humanos na forma, correspondendo à parte mais larga desta.

Schmidt (2007) afirma que com o avanço das relações comerciais e a criação de um mercado formal entre os séculos dezanove e vinte, percebeu-se a necessidade do estabelecimento de padrões de medida para as formas e os calçados, conseqüentemente. o Autor aponta ainda os principais sistemas de medidas de calçados, chamados de “Ponto Inglês” e “Ponto Francês”, os quais serviram de base para os novos sistemas criados para a numeração dos pares de calçados. Além dos dois já citados, o autor cita os sistemas “Ponto Americano”, “Ponto Centímetro”, “Ponto Contramarca” e “Medopoint”. Os 6 sistemas citados serão apresentados respectivamente nos tópicos a seguir.

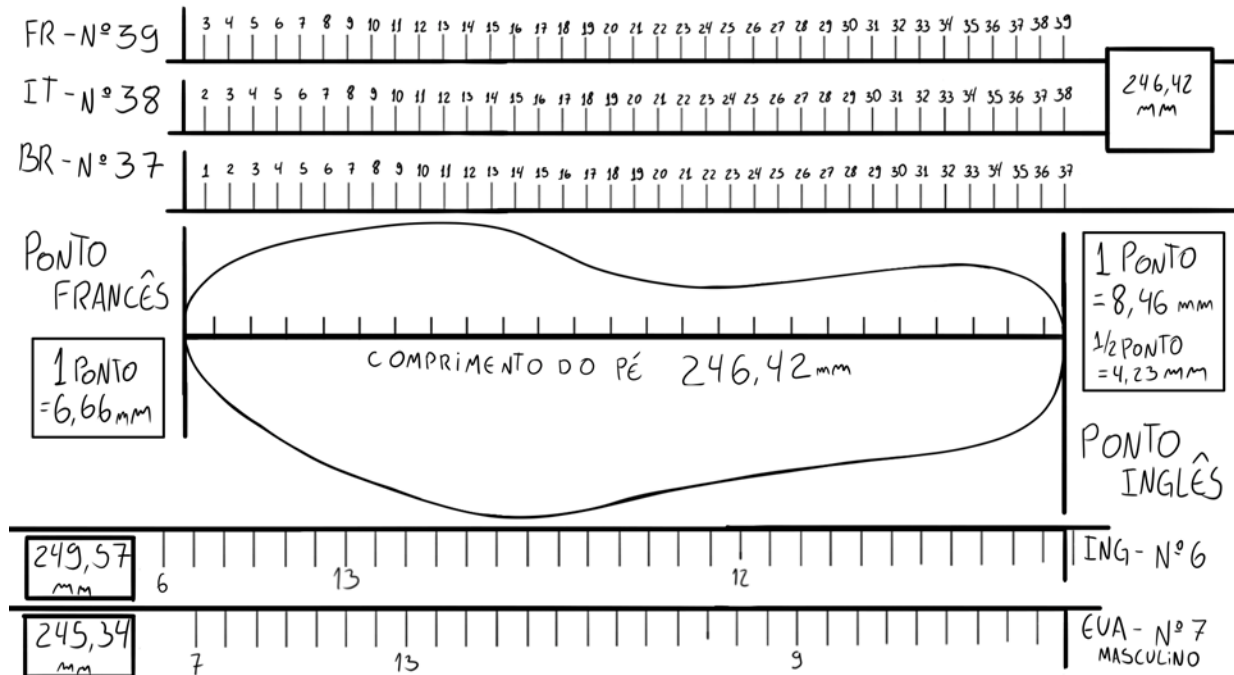
- *Ponto Francês*

É o sistema de medidas mais utilizado na Europa, também é utilizado nas antigas colônias francesas da África e da América Latina. Inicialmente o ponto francês correspondia a uma medida de dez milímetros, porém, para um melhor escalonamento dos calçados esta medida foi alterada para um terço de vinte milímetros ou dois terços do ponto francês antigo, ou seja, cada ponto do sistema de medidas francês equivale a seis vírgula sessenta e seis milímetros. esse valor é chamado de progressão de comprimento. Berwanger (2008)

ainda afirma que há diferentes interpretações do comprimento no sistema de ponto francês no que diz respeito às numerações em diferentes países. Ele cita que, na França, à numeração das formas foram adicionados dois pontos franceses para uma folga de calce; Na Itália essa adição foi de apenas um ponto devido à influências comerciais; E no Brasil as numerações correspondem ao comprimento real dos pés, a folga de calce neste caso fica por conta do suplemento adicionado ao bico da forma. Para a medição dos perímetros, a progressão é dada pelo valor de um quarto de vinte milímetros (dois pontos franceses antigos) ou metade de um ponto francês atual, equivalente à cinco milímetros, ou seja, o perímetro de cada forma é meio ponto francês maior do que o perímetro da mesma forma com a numeração anterior. Da mesma forma que o comprimento, o perímetro das formas também são interpretados de maneiras variadas, devido à relação direta com o comprimento. Na França foi estabelecido uma escala de medidas referenciais para a variação dos perímetros, essa escala varia entre um e oito pontos e a medida do perímetro em milímetros é calculada pela soma do número de comprimento da forma com o valor referencial de perímetro (entre um e oito) multiplicado por cinco (valor de progressão de perímetro); Na Itália deve ser adicionado um ponto ao comprimento, equivalente à diferença da margem de calce, para este cálculo; No Brasil por sua vez, deve ser adicionado dois pontos devido a inexistência da margem de calce.

A figura 14, apresentada a seguir, representa ambos principais sistemas de medidas tradicionais (Ponto francês e Ponto inglês) e suas variações de interpretação. Na parte superior e à esquerda (figura 14) estão representadas as variações para o sistema de Ponto francês, descrito anteriormente; Na parte inferior e à direita da mesma figura estão representadas as variações do sistema chamado Ponto inglês, que será discorrido em seguida. As representações na figura são esquemáticas e, portanto, não apresentam medidas reais em escala.

Figura 14: Diferentes sistemas de medidas para um mesmo tamanho



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Ponto Inglês

De acordo com Berwanger (2008) o sistema de medidas originário da Inglaterra é chamado de Ponto Inglês, e é utilizado em muitos países com influência inglesa e antigas colônias britânicas. Este sistema é baseado nas medidas imperiais, portanto cada ponto representa um terço de polegada (*inches* ou "*in*") e cada meio ponto corresponde a um sexto de polegada, esses são os valores de progressão do sistema. A medida somada de doze polegadas corresponde a medida de um pé (*feet* ou "*ft*"), este valor é utilizado no ponto Inglês como escala nula, a partir daí a escala infantil inicia no zero e termina no treze e a escala adulta inicia no treze, mas utilizando esse valor como partida, ou seja, como o zero e segue até o treze novamente. Para saber o comprimento do pé em uma forma com o sistema de ponto Inglês é necessário subtrair da escala nula o valor da margem de calce, este valor é constante e representa dez polegadas e meia. A este valor é somado o número do calçado, para a escala infantil, e na escala adulta além do número do calçado deve-se adicionar os treze pontos referentes à escala infantil. Por fim, o valor resultante deve ser multiplicado por um terço de vinte e cinco vírgula quatro, referente a um terço de polegada em milímetros.

- *Ponto Americano*

Na interpretação norte americana do ponto inglês não há valor de margem de calce e a constante nula varia entre as escalas infantil e adulta, esta última apresenta diferença entre masculino e feminino. Para os pés infantis a escala nula corresponde a nove pontos e três quartos, para os pés femininos corresponde a oito pontos e para o masculino nove pontos. Para calcular o comprimento dos pés em milímetros de um calçado com esta interpretação do ponto Inglês, também chamada de Brannock, primeiro deve-se identificar a categoria de escala (infantil, feminino ou masculino) e somar ao número de calce pretendido para o infantil; aos outros deve ser adicionado também o valor de treze pontos que correspondem às numerações infantis. Após essa operação, deve-se multiplicar o resultado por um terço de vinte e cinco vírgula quatro milímetros. O valor de progressão do perímetro do ponto inglês corresponde a um quarto de polegada para cada ponto e um oitavo de polegada para o meio ponto.

Os valores referentes aos perímetros das formas são expressados em ordem alfabética do “A” ao “G” ou do um ao sete. Para calcular o perímetro do ponto Inglês em milímetros é necessário calcular o comprimento em pontos ingleses e somá-lo ao valor de referência de perímetro e então multiplicar o quociente por um quarto de polegada. Nos Estados Unidos os valores dos perímetros das formas são classificados do “AAA” ao “E” ou do um ao sete. Para calcular o perímetro do sistema Brannock, utiliza-se a mesma lógica do perímetro do Ponto Inglês com a diferença de que o valor da margem de calce (uma polegada e meia) deve ser adicionado ao número de calce do sistema Inglês, já que esta margem não é considerada no sistema Brannock, e então multiplicar o valor resultante por um quarto de polegada. Como alguns valores de perímetro são mais comuns que outros, os estadunidenses decodificaram os perímetros “AA”, “B” e “D” para outras letras que por sua vez representam palavras qualitativas figuradas. Foram adotados “N”, “M” e “W”, respectivamente a “*Narrow*” (estreito), “*Medium*” (Médio) e “*Wide*” (Largo) (Berwanger, 2008).

- *Contramarca*

O sistema de contramarca, segundo Berwanger (2008), foi criado baseado no ponto francês visando a redução das numerações para atingir o público feminino. Consiste na subtração de trinta e três pontos franceses da escala original, resultando em uma

numeração mais próxima da numeração inglesa, onde os maiores tamanhos vão pouco além de uma dúzia de pontos.

- *Ponto Centímetro*

Este sistema é baseado na escala métrica, como o próprio nome diz. De acordo com Berwanger (2008) o Ponto Centímetro é utilizado em poucos países, o autor cita Japão, África do Sul e México. Cada ponto equivale a um centímetro, ou dez milímetros e cada meio ponto equivale a metade: cinco milímetros.

- *Mondopoint*

Berwanger (2008) diz que o Sistema Mondopoint foi criado em um congresso na Espanha no ano de 1961, com a intenção de resolver os problemas de comercialização internacional dos calçados, causados pela variedade de sistemas de medidas usados para a produção calçadista nos diferentes países. Este sistema possui dois padrões de progressão, um para formas mais justas e outro para formas mais folgadas, estes valores são, respectivamente, cinco e sete milímetros e meio. O perímetro das formas é definido em proporção ao comprimento, variando entre noventa, noventa e cinco ou cem por cento do valor de comprimento. Contudo, segundo o autor, o sistema não foi adotado por conta da difusão profunda dos outros sistemas nas indústrias em cada local.

Métodos para obter as medidas e anatomia dos pés

A seguir serão apresentadas possibilidades para a obtenção das medidas dos pés do consumidor final, visando a confecção de calçados personalizados sob medida, através de tecnologias analógicas ou digitais, em duas ou três dimensões, encontradas.

- *Fita métrica*

Neste método, mais tradicional, utiliza-se uma fita flexível com marcações milimetradas para extrair as medidas dos pés. Em sua dissertação, Menin (2009), baseou-se neste método para coletar dados antropométricos estáticos de trinta variáveis dos pés, sendo dez comprimentos, nove alturas, oito perímetros e três larguras. Cada medida realizada pela autora é explanada quanto aos pontos e direções de posicionamento da fita,

necessários para uma correta obtenção dos dados. Dentre essa variedade de medições, o autor destaca algumas das medidas expostas por Menin (2009).

Comprimento do Pé - Distância entre o ponto mais proeminente, na região da tuberosidade do calcâneo, até o ponto mais proeminente, na região anterior da tuberosidade da falange distal do dedo maior; A autora (Menin, 2009), mostra também as diretrizes para medição de cada dedo individualmente - dedos I, II, III, IV, e V - seguindo o mesmo princípio.

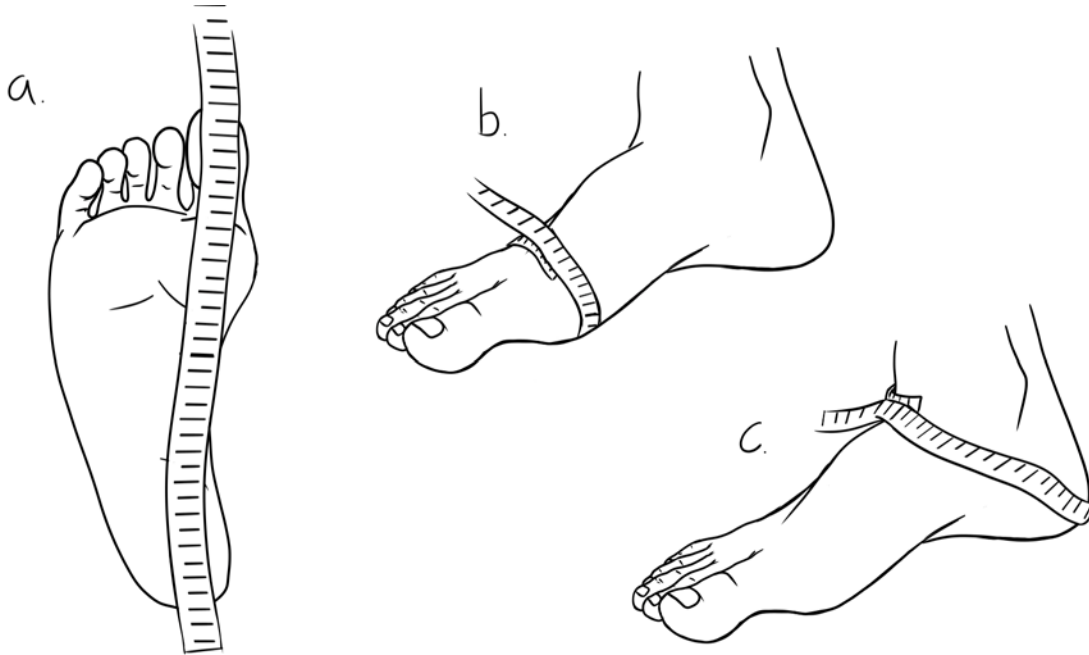
Outros quatro comprimentos mensuráveis mostrados pela autora, são medidos em uma linha longitudinal traçada a partir do calcanhar em direção ao segundo dedo (II). São eles: Cabeça do Metatarso V; Cabeça do Metatarso I; Peito do Pé; e Entrada do Pé.

Quanto aos perímetros medidos na dissertação da autora (Menin, 2009), o destaque fica com o Perímetro do Pé, Perímetro do Tornozelo e Perímetro Tornozelo Calcanhar. O primeiro é medido na seção vertical do pé, numa linha que passa na parte mais proeminente da região da tuberosidade da cabeça dos metatarsos I e V; O segundo é medido numa seção transversal do tornozelo, que passa pelos pontos da região da face superior da tróclea do tálus e pelos pontos mais proeminentes dos maléolos medial e lateral; O terceiro é medido com uma fita métrica que passa sobre o ponto em que o calcanhar encosta do chão até a parte dianteira do tornozelo;

Os demais cinco Perímetros exibidos pela autora correspondem a: Perímetro dos dedos; Perímetro do Peito do Pé; Perímetro da Entrada do Pé; Perímetro da Panturrilha; e Perímetro Poplíteo.

A Figura 15 foi elaborada pelo autor para representar o processo de obtenção das medidas com a fita métrica, apresentando os três pontos de medição selecionados pelo autor: Comprimento do pé (figura 15a), Perímetro do pé (figura 15b) e Perímetro do Tornozelo Calcanhar (figura 15c).

Figura 15: Utilização da fita métrica para obtenção das medidas do pé.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As três Larguras obtidas pelo método da autora (Menin,2009) são descritas como: Largura dos dedos; Largura do Pé; e Largura do Calcanhar. Todas são medidas entre as regiões mais proeminentes de cada local: Cabeça dos Metatarsos I e V; Largura das falanges distais dos dedos I e V; e Largura dos pontos mais proeminentes do calcanhar na região lateral e medial.

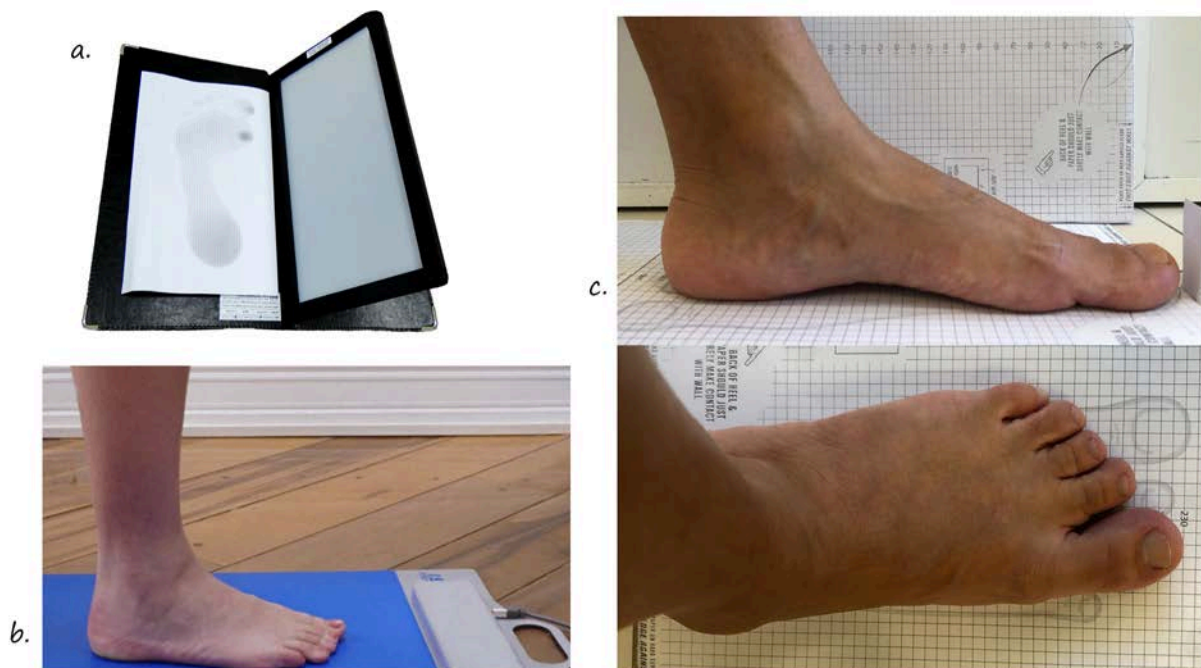
A Altura dos dedos I, V e Altura do Metatarso é medida, de acordo com Menin (2009), a uma distância vertical medida entre o plano de apoio e o topo da articulação interfalangeana, no dedo I, e o topo da articulação interfalangeana distal, no caso do dedo V. Para a Altura do Metatarso a medição é feita a partir do plano até a altura do ponto mais alto da articulação metatarsofalangeana do dedo I.

As demais seis alturas mensuráveis são denominadas “Altura do Peito do Pé”, “Altura da Entrada do Pé”, “Altura do Maléolo Medial”, “Altura do Maléolo Lateral”, “Altura do Maléolo Lateral” e “Altura do Ponto Inferior do Maléolo Lateral”, todos também medidos a partir do plano de apoio do pé.

- *Imagens 2D*

Os métodos para obtenção das medidas e anatomia dos pés apresentados neste item baseiam-se na tecnologia de imagens em duas dimensões. Estes métodos, que podem auxiliar no processo de compreensão da anatomia e a obter as dimensões dos pés, estão representados na figura 16, sendo: a) Plantigrafia; b) Baropodometria; e c) Fotografia. Cada um dos três métodos é discorrido nos parágrafos posteriores à figura 16.

Figura 16: Métodos 2D para obtenção das medidas dos pés. a) Plantígrafo; b) Baropodômetro; c. Fotografias sobre papel milimetrado.



Fonte: a) PODOTECH, 2023.; b) MATEUS MARTINEZ, 2022; c) elaborado pelo autor.

Plantigrafia

A plantigrafia, segundo o blog no site da empresa Podotech (2023), é uma técnica que, com o auxílio de um equipamento chamado de plantígrafo (figura 16a), permite a grafia com tinta sobre papel da impressão plantar com identificação dos pontos de maior pressão. O plantígrafo possui uma membrana quadriculada com diferentes níveis de resolução que transfere para o papel uma tinta solúvel em água com o padrão quadriculado. Os diferentes níveis da membrana fazem com que as áreas de maior pressão sejam mais escuras, por possuírem mais e menores quadrados, e as áreas onde a pressão plantar é menor os quadrados são maiores, resultando em áreas mais claras, com menos transferência de tinta.

Baropodometria

Segundo a empresa Pés Sem Dor, em seu blog (Martinez, 2022), a Baropodometria é um exame que identifica as áreas de pressão plantar, o tipo de pisada, o impulso e outras alterações biomecânicas. O baropodômetro (figura 16b) é um equipamento que utiliza sensores de alta tecnologia em uma plataforma para captar e quantificar os pontos de pressão sob a sola do pé durante o movimento natural de marcha. A interpretação dos sensores é mostrada graficamente na tela do computador com uma legenda colorida que indica as áreas de maior e menor pressão.

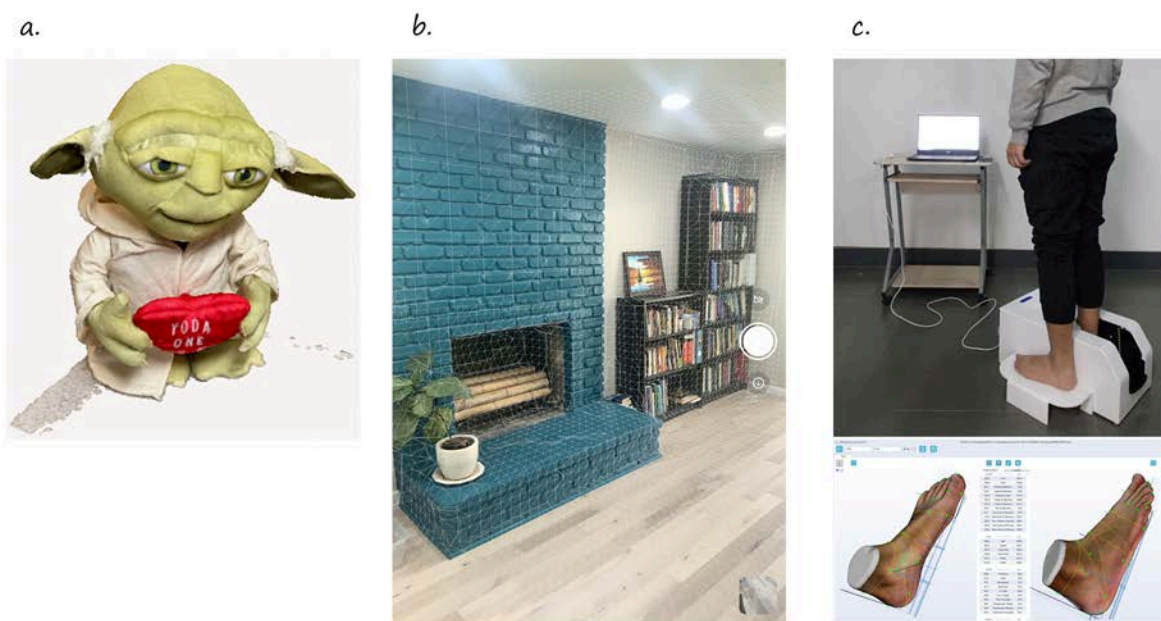
Fotografias

A fotografia é outro método que pode auxiliar na obtenção das proporções e anatomia e é uma tecnologia amplamente difundida. Um exemplo da utilização deste método é a empresa norte-americana que fabrica calçados sob medida “Code Footwear”. Para confeccionar o seu calçado a empresa solicita, além do escaneamento volumétrico dos pés, três fotos de cada pé. O escaneamento volumétrico pode ser feito em algumas lojas varejistas que contam com um equipamento deste tipo ou via um aplicativo específico de fotogrametria (indisponível no Brasil até a data de finalização deste relatório). Para auxiliar na compreensão da anatomia do pé, a empresa disponibiliza em seu site um arquivo para impressão de duas folhas tamanho A4 que devem ser impressas em tamanho real, cortadas e unidas em pontos específicos para obtenção das imagens. As folhas, mostradas nos anexos A e B, possuem uma área com marcações quadriculadas compostas por um grid com linhas a cada 5mm e numeradas a cada 10mm, iniciando na marca onde deve ser posicionado o calcanhar (figura 16c). Dentro da área quadriculada há também o desenho de um pé, indicando como o pé deve estar posicionado sobre a folha. Fora da área quadriculada há um outro retângulo com marcações semelhantes a uma régua, este retângulo deve ser recortado e dobrado ao meio para servir de régua vertical que será usada nas fotografias da área dos dedos. Ainda em seu site, a empresa indica através de ilustrações as posições ideais que a câmera do celular e a régua vertical devem estar para obtenção das fotos (FOOTWEAR, 2023b).

- *Imagens 3D*

Este item apresenta três meios para a obtenção de imagens 3D da anatomia dos pés, sendo dois deles realizados a partir de câmeras de smartphones, fotogrametria e LiDAR (*Light Detect and Ranging*), enquanto o outro é feito a partir de uma variedade de equipamentos específicos para os pés. Os métodos são apresentados na Figura 17 e descritos posteriormente.

Figura 17: Métodos 3D para obtenção das medidas dos pés. a) Personagem de pelúcia digitalizado por fotogrametria digital de curta distância; b) Escaneamento de cômodo residencial com sensor LiDAR de *smartphone*; c. Scanner UPOD-S e seu *software*.



Fonte: a) Polycam, 2023; b) Polycam, 2023; c) adaptado de VISMACH TECHNOLOGY, 2023.

Fotogrametria

A fotogrametria, segundo o site da empresa Mensurar Júnior (2021), é a obtenção de informações sobre objetos e o meio ambiente através da interpretação e medição de imagens fotográficas digitais ou analógicas. Os autores indicam que a fotogrametria pode ser dividida entre fotogrametria interpretativa ou métrica (a primeira produz dados qualitativos enquanto a segunda produz dados quantitativos); Fotogrametria analógica, analítica ou digital; e fotogrametria espacial, aérea, terrestre ou de curta distância (classificadas quanto ao posicionamento da câmera em relação ao objeto).

Com a tecnologia atual, a fotogrametria pode ser facilmente realizada através da câmera de um *smartphone* com o auxílio de aplicativos. O aplicativo necessita da captura de

diversas fotos de um mesmo objeto por diferentes ângulos que são pós-processadas em nuvem para a composição de uma malha 3D. Alguns exemplos de aplicativos com esta finalidade são: Polycam, Widar, KIRI Engine e Verifyt; este último, está indisponível nas lojas de aplicativos do Brasil. Vale ressaltar que, apesar da maioria dos aplicativos serem gratuitos, as funcionalidades geralmente são limitadas (como a exportação dos arquivos 3D em formatos específicos) e necessitam de pagamento para utilização plena de suas funcionalidades (POLYCAM, 2023; WIDAR, 2023; KIRI INNOVATION, 2023; NETVIRTA®, 2023).

Sistema de Varredura a Laser (LiDAR)

De acordo com Pedroso (2020), no artigo do site Mundo Conectado, o sensor LiDAR (Light Detect and Ranging), desenvolvido na década de 60, utiliza um sistema de emissão de laser pulsado para medir as propriedades da luz refletida e obter informações precisas sobre as coordenadas tridimensionais (dimensões, distâncias, ângulos etc.) dos diferentes objetos. Atualmente o sistema LiDAR já está inserido em alguns smartphones mais sofisticados e seu uso é associado principalmente a recursos de realidade aumentada e jogos.

Alguns aplicativos de escaneamento 3D para *smartphones*, como os já citados Polycam, Widar e KIRI Engine, oferecem também a opção de escaneamento por varredura a laser, além do recurso de fotogrametria (POLYCAM, 2023; WIDAR, 2023; KIRI INNOVATION, 2023).

Escaneamento tridimensional dos Pés

Existem algumas opções no mercado de *scanners* tridimensionais voltados especificamente para os pés. São máquinas, ou acessórios, que utilizam lasers e/ou câmeras para capturar a geometria dos pés, fornecendo dados precisos apresentados em softwares nativos ou em arquivos padrões de *softwares* de modelagem 3D. São diversos formatos e funcionalidades, há opções que possibilitam o escaneamento total de ambos pés ao mesmo tempo, enquanto outras possibilitam apenas o escaneamento da planta do pé ou de um único pé por vez. Há opções com *displays* interativos, comando por voz interativo e em forma de acessório para o iPad. A maioria dos scanners encontrados não leva mais que dez segundos para completar o escaneamento, com exceção do acessório para iPad que leva até dois minutos para escanear o pé completamente (AETREX®, 2023; VORUM, 2023; ISUN3D, 2023; LUTRACAD™, 2023a; VISMACH TECHNOLOGY, 2023).

Formas

As Formas² são a representação dos pés que calçam os calçados e são utilizadas tanto para projetá-los quanto para montá-los. Este tópico apresenta as definições de alguns autores e normas regulatórias brasileiras referentes às Formas. Dentre as definições encontram-se os tipos diferentes de Formas, suas partes e características específicas, como materiais, articulações e, no caso da norma, classificação quanto ao perfil.

Chocklat (2012) afirma que a construção do sapato inicia com uma Forma, que tem o formato semelhante ao pé humano e é composta de madeira, couro ou polímeros, à partir dela são projetados e adequados todos os outros componentes, principalmente a sola e o salto. O autor indica que cada tipo de sapato requer uma Forma específica, citando os exemplos botas, mocassins e tênis e alerta que as formas não devem ter as dimensões iguais à de um pé, e sim, serem projetadas para entrar em um calçado comum, com folgas para movimentação e conforto.

“As fôrmas possuem diversos formatos (...) e podem ser modificadas para se adequar perfeitamente ao pé da pessoa.”(CHOKLAT, 2012, p. 40). O autor exibe uma figura com identificação das partes da Forma e divide-a em três partes: dianteira, cone e traseira.

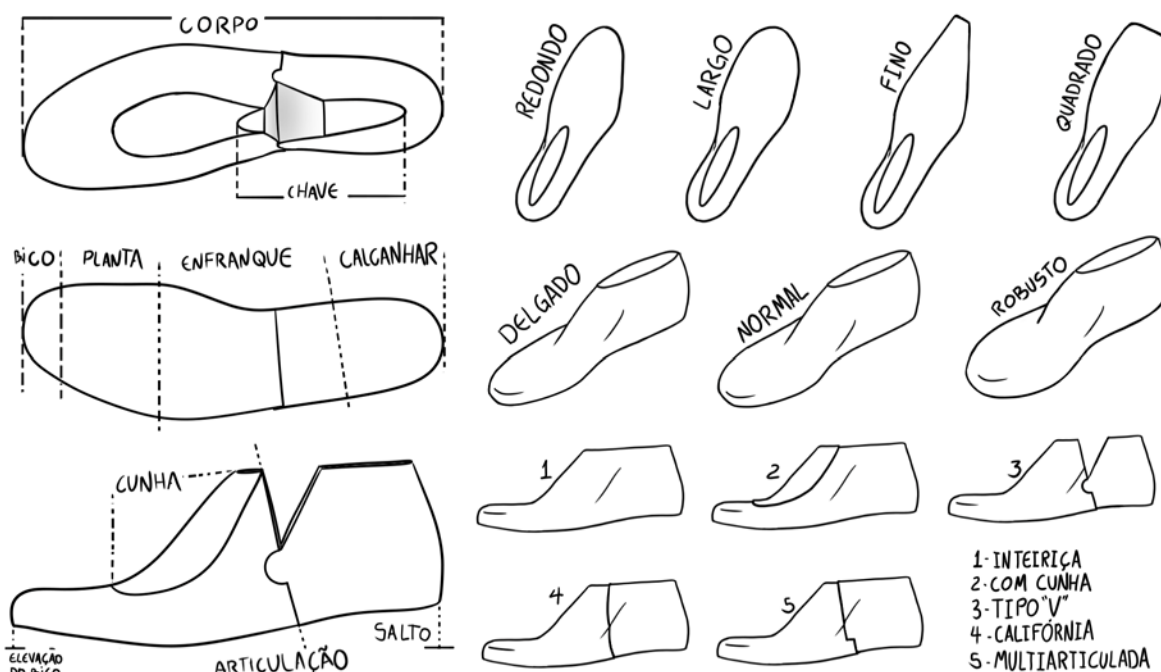
A Norma Brasileira (NBR) 15159 (ABNT, 2013) indica que durante a fase de apoio do ciclo de marcha o pé recebe um incremento de quatro a oito milímetros e que as Formas devem ter um valor de comprimento maior do que o comprimento do pé que ela representa. Rehfeldt (2001) diz que a fabricação moderna de calçados necessita de uma sincronia entre Formas, palmilhas e saltos (cabe adicionar aqui as solas) e que as Formas são o ponto de partida para isso, é através delas que se consegue o calce do calçado e elas influenciam diretamente todo o desenvolvimento técnico dos modelos. A autora traz algumas informações sobre as Formas que podem complementar o livro de Choklat (2012); Ela aponta que as Formas, quando observadas da base, são divididas em quatro partes principais: o bico, a planta, o enfraque e o calcanhar, respectivamente da dianteira para a traseira do pé. O bico é a extrema dianteira, parte mais estreita onde estariam as pontas dos dedos. A planta representa a parte média dianteira, logo após o bico, é a parte mais larga horizontalmente da forma e representa a largura metatarso-falangiana. O enfraque é a parte média traseira, anterior ao calcanhar e representa o peito do pé e o arco plantar. O

² A inicial maiúscula na palavra formas foi empregada para diferenciar as palavras referentes às formas de calçados, especificamente.

calcanhar é a parte extrema traseira e tem o formato arredondado, representa o calcanhar humano.

A Figura 18 foi elaborada pelo autor deste PCC para ilustrar as principais informações sobre as Formas, referenciadas pelos autores Choklat (2012), Rehfeldt (2001) e Berwanger (2008); e também pela NBR 15159 (ABNT, 2013). Na porção esquerda da figura 18 está representada a anatomia de uma forma articulada e com cunha. Na porção direita da figura estão representadas algumas variações quanto a diferentes características das formas: formato do bico, perfil de forma e tipo de articulação. Estas variações são explanadas nos parágrafos seguintes à figura.

Figura 18: Anatomia e características das Formas.



Elaborado pelo autor. Fonte: CHOKLAT, 2012; REHFELDT, 2001; BERWANGER, 2008; ABNT, 2013.

Além desta segmentação há também a distinção entre os lados internos e externos do pé, onde o primeiro representa o lado do polegar (medial) e o outro, opostamente, representa o lado do dedo mínimo (lateral), estas partes estão divididas pela linha do meio da gáspea, linha imaginária que percorre o comprimento do peito do pé, do bico até a abertura (parte mais distante do chão, que representa o tornozelo humano). Seguindo no mesmo artigo, a autora afirma que a maior modificação sofrida pelas formas está no bico, podendo variar quanto a espessura vertical entre chato, baixo e alto e também diferem-se

quanto à morfologia, os formatos de bico fino, largo, quadrado ou redondo podem ser utilizados para expressar os mais diversos conceitos e estilos. Ainda na parte dianteira, no bico, há a elevação do bico, ou da biqueira para Choklat (2012); este autor afirma que esta elevação, que faz com que o bico aponte levemente para cima, é essencial e suaviza o movimento ao caminhar.

Voltando para Rehfeldt (2001), esta diz que as Formas, de modo geral, se caracterizam pelos eixos, proporções, alturas de salto e de bico e as medições são baseadas no comprimento, perímetro, largura entre outras medidas importantes, algumas delas são: comprimento total (linha reta da ponta do calcanhar até a ponta do bico) e comprimento de calce (referente ao sistema de medidas adotado); comprimento do calcanhar-saliência dos dedos (linha reta da ponta do calcanhar até o pico da largura metatarso-falangeana do lado interno); perímetro dos dedos (circunferência do pé na largura metatarso-falangeana) e perímetro do peito do pé (circunferência do pé na parte mais larga do cone ou enfraque); perímetro de entrada (parte que representa o tornozelo, circunferência do peito do pé até o calcanhar) e perímetro da barriga da perna (circunferência da parte mais larga da panturrilha); largura metatarso-falangeana (linha reta horizontal na parte mais larga do pé, do polegar ao dedo mínimo); largura da superfície plantar (linha reta horizontal na parte mais estreita do pé que toca o chão, na região do enfraque próximo ao calcanhar) e largura total da Forma (linha reta horizontal na parte mais estreita do pé considerando o abaolamento lateral além da quina da forma).

Em seu livro, Berwanger (2008) discorre sobre os aspectos técnicos para a criação de Formas e inicia afirmando que a forma deve representar o padrão médio da população para qual será produzido o calçado. O autor também indica que os primeiros passos para a criação de um novo modelo de Forma são a definição do tipo de calçado e a altura do salto, a partir dessas informações é possível escolher um modelo base de forma e sobre ela desenvolver um novo desenho para o bico. Berwanger (2008) demonstra as mesmas quatro secções inferiores de Forma que Choklat (2012) com adição da Cunha, principalmente, entre outros componentes técnicos mais voltados para as indústrias. A Cunha é uma divisão horizontal da parte superior do enfraque da Forma, área que representa o peito do pé. Esta secção é feita para facilitar a desenformagem do calçado confeccionado sobre a Forma, mas não se faz necessária para todos os tipos de calçados, Formas sem cunha são chamadas de Formas “inteiriças”. Além da Cunha foram desenvolvidas também Formas articuladas que

facilitam esse processo de desenformar o calçado, o autor (Berwanger, 2008) demonstra as Formas articuladas do tipo “V”, “Califórnia” e “Multiarticulada”. As articulações permitem a movimentação vertical da parte traseira da Forma, abrangendo o calcanhar e parte do enfranque.

A NBR 15159 (2013) estabelece os parâmetros que definem as medidas para a confecção de Formas com três diferentes perfis para uma mesma numeração: um perfil Normal (M), para pés médios; um perfil Delgado (D), para pés delgados; e um perfil Robusto (R), para pés robustos. Esta norma especifica em milímetros as medidas de comprimento e perímetro para as numerações mais comuns para homens (do trinta e seis ao quarenta e cinco) e mulheres (do trinta e três ao quarenta e dois) e indica que o incremento para cada numeração é de seis vírgula sessenta e seis milímetros para o comprimento e cinco milímetros para o perímetro. A partir do perfil Normal são definidos os perfis Delgado e Robusto, o primeiro tem uma redução da medida do perímetro da forma de dez milímetros enquanto que o segundo recebe um acréscimo de dez milímetros à medida do perímetro da Forma. Ao final desta norma são expostas duas tabelas, uma para calçados masculinos e outra para calçados femininos, com as distâncias e os perímetros em milímetros dos pontos de controle para cada numeração das Formas de perfil Médio a partir do ponto mais extremo do calcanhar.

Corpo de Forma médio

Para Schmidt (2007) a finalidade do corpo de Forma médio é padronizar as medidas, linhas e contornos de uma coleção, são padronizados os contornos dos perfis do calcanhar e da linha do meio da gáspea. Este tópico apresenta os métodos encontrados para a elaboração de um corpo de Forma médio: medidas e progressões de medidas; desenho geométrico de palmilha e do perfil de Forma; e os pontos para obter ou definir as medidas. Vale ressaltar que dentre os autores citados, que falam especificamente sobre medidas e proporções de Formas, a medida do perímetro de entrada (perímetro do tornozelo) não foi estabelecida, portanto, buscou-se um estudo antropométrico que apresentasse estes valores.

No oitavo vídeo do Curso de Medidas e Análise de Formas para Calçados [(8)Medidas [...], 2020], o autor Antônio Carlos descreve os originais de Forma como o primeiro par de forma produzido que será escalonado para dar origem a toda a coleção.

Neste mesmo vídeo ele apresenta os valores de uma Forma original (adaptada aos padrões médios da população brasileira) masculina de tamanho 39 em pontos franceses do Brasil. São apresentadas também tabelas com a progressão ou regressão dos valores para outras numerações (apenas do 36 ao 42) e proporções para o cálculo de alguns valores ou que indicam uma pequena variação provável para determinadas medidas. O autor afirma disponibilizar as tabelas em Excel mediante requisição por e-mail, o que não foi realizado pelo autor deste projeto. Em seguida os valores apresentados nos vídeos do autor:

Comprimento: 39 pontos franceses.

Progressão: 6,66 mm por ponto francês.

O comprimento pode ser até 4 pontos maior que o valor nominal da Forma, devido a largura e/ou espessura do bico.

Largura da planta: 95mm.

Progressão: 35% do valor da progressão da articulação (5mm) - 1,75mm por ponto francês.

Largura da base do calcanhar: 64mm.

Progressão: Proporcional ao valor obtido para a largura da planta após o acréscimo da progressão (1,75mm) Portanto para larguras de planta e de base com valores respectivos de 95mm e 64mm (tamanho 39 masc.) a progressão de largura de base obtida por regra de três é de 1,17mm por ponto francês:

$$95 \div 1,75 ;$$

$$64 \div x ;$$

$$64 * 1,75 = 95x ;$$

$$112/95 = x ;$$

$$x = 1,17 \text{ mm} - \text{aproximado.}$$

Altura da base do calcanhar: 95mm

Altura do topo da forma: 105mm

Articulação: 255mm.

Progressão: 5mm por ponto francês.

Perímetro medido a partir de uma secção plano sagital perpendicular à curvatura da planta da Forma em direção a região anterior à proeminência do osso Navicular.

Cintura: 255mm.

Progressão: 5mm por ponto francês.

Perímetro medido a partir de uma secção plano sagital perpendicular à curvatura da planta da Forma em direção a região da proeminência do osso Navicular.

A Cintura é igual ou meio ponto menor (1 ponto de perímetro = 5mm) que a articulação dos dedos.

Peito: 265mm.

Progressão: 5mm por ponto francês.

Perímetro medido a partir de uma secção plano sagital perpendicular à curvatura da planta da Forma em direção à região posterior à proeminência do osso Navicular.

O Peito do pé poderá ser até dois pontos maior que a articulação dos dedos.

Chave menor: 365mm.

Progressão: 8,5mm por ponto francês.

Perímetro da circunferência obtida entre o calcanhar e a região posterior à proeminência do osso Navicular.

Chave média: 400mm.

Progressão: 9mm por ponto francês.

Perímetro da circunferência obtida entre o calcanhar e a região da proeminência do osso Navicular.

Chave maior: 425mm.

Progressão: 9,5mm por ponto francês.

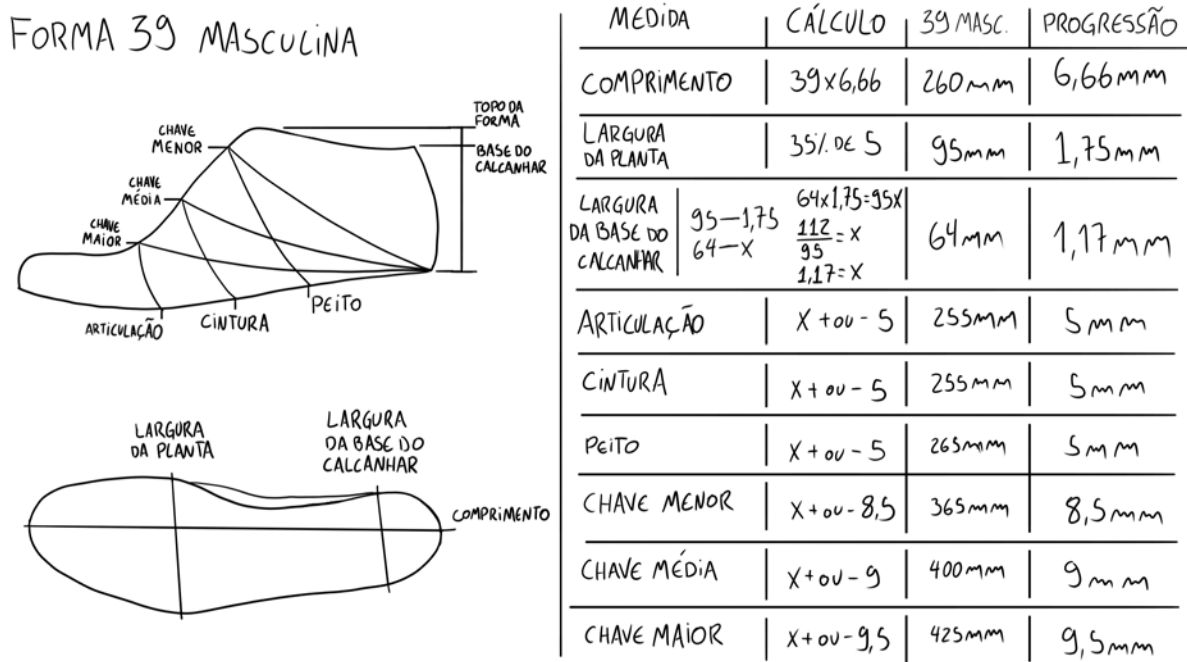
Perímetro da circunferência obtida entre o calcanhar e a região anterior à proeminência do osso Navicular.

A Chaves podem variar de acordo com o modelo do calçado (altura do salto, estilo de Forma e estilo do calçado).

Neste oitavo vídeo [(8)Medidas [...], 2020], o autor apresenta também uma tabela com os valores calculados de progressão de comprimento, chaves e larguras dos tamanhos 36 a 42 em ponto francês e os valores de progressão para os tamanhos menores que 32 (do 31 ao 20 e do 19 ao 16)”.

A figura 19 foi desenvolvida pelo autor deste PCC para ilustrar as informações presentes no vídeo [(8)Medidas [...], 2020], com a identificação esquemática das medidas na porção esquerda da imagem; e os valores para a numeração 39 (trinta e nove), os valores de progressão e o cálculo para obtenção dos valores de progressão na porção direita da imagem.

Figura 19: Identificação das medidas e valores de progressão.



Elaborado pelo autor. Fonte (8)MEDIDAS... 2020

Desenho geométrico de um perfil de forma

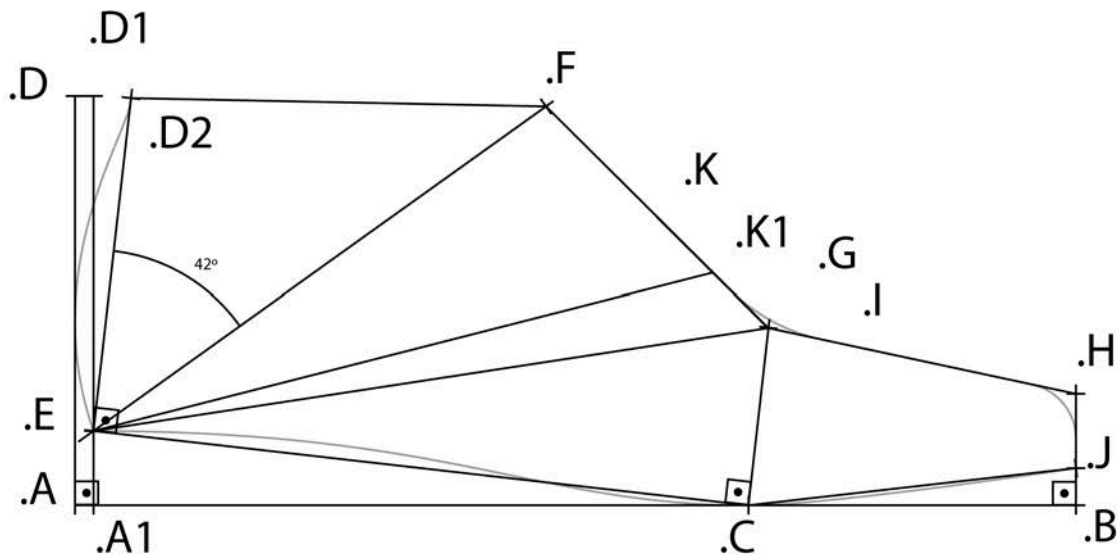
No sexto vídeo do Curso de Medidas e Análise de Formas para Calçados [(6) DESENHO [...], 2020], o autor Antônio Carlos apresenta um passo a passo para desenhar o perfil de um original de Forma tamanho 39 do Brasil utilizando recursos geométricos. A seguir o passo a passo apresentado pelo autor:

1. Traçar a reta AB referente ao comprimento da Forma (número * 6,66mm + 10mm);

2. Medir A1 (curvatura do calcanhar) a 5mm do ponto A;
3. Medir o ponto C (apoio da articulação) a $\frac{2}{3}$ da distância entre A1 e B;
4. Traçar as retas AD e A1D1 a partir dos pontos A e A1 perpendicularmente à reta AB medindo 110mm para cima;
5. Traçar a reta BH a partir do ponto B perpendicularmente à reta AB medindo 30mm para cima;
6. Marcar o ponto E (altura do salto) na reta A1D1 a uma distância de 20mm a partir do ponto A1;
7. Traçar a reta EC;
8. Traçar a reta ED2 a partir do ponto E perpendicularmente a EC medindo 90mm;
9. Traçar a reta EF (eixo da chave maior) a partir do ponto E com inclinação de 42° em relação a reta EC medindo 150mm;
10. Marcar o ponto J (altura do bico) na reta BH a uma distância de 10mm de B;
11. Traçar a reta CJ (medindo aproximadamente $\frac{1}{3}$ de A1B);
12. Traçar a reta CG (linha lateral da articulação) a partir do ponto C perpendicularmente à reta EC medindo $\frac{1}{2}$ do perímetro; Observar a espessura do bico medindo 22,5 mm;
13. Traçar a reta D2F;
14. Traçar a reta FG;
15. Traçar a reta GH;
16. Finalizar o perfil com linhas curvas.

A Figura 20 apresenta o resultado do passo a passo indicado no vídeo [(6) DESENHO [...], 2020], com indicação dos pontos, retas e ângulos.

Figura 20: Desenho geométrico de perfil de forma.



Elaborado pelo autor. Fonte (6)Desenho (...), 2020.

Desenho geométrico de Palmilha

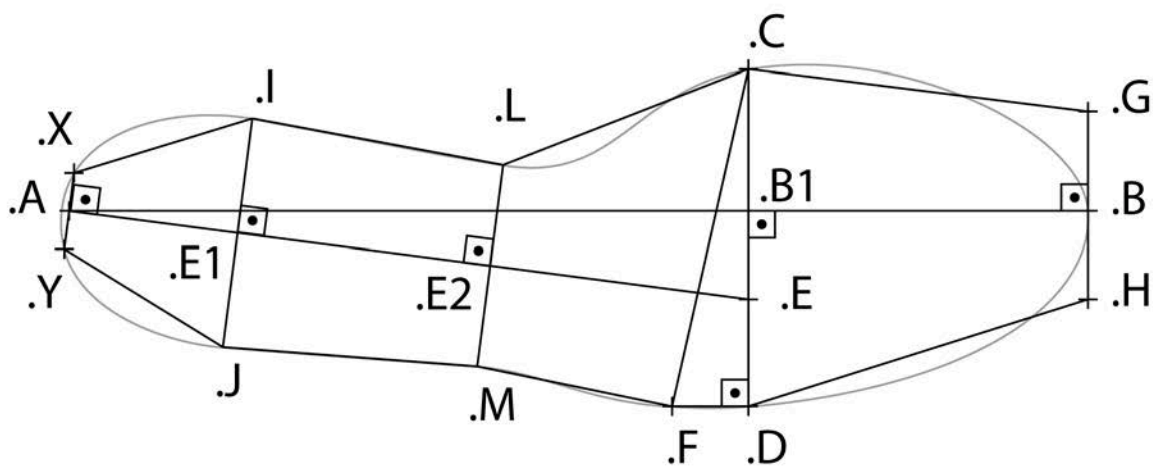
No quarto vídeo do Curso de Medidas e Análise de Formas para Calçados [(4)TECNOLOGIA [...], 2020], após discorrer sobre os sistemas de medidas, o autor Antônio Carlos afirma que a fabricação de Formas evoluiu consideravelmente no século XIX, com o estabelecimento de critérios baseados em anatomia e ortopedia. Na metade final deste quarto vídeo o autor apresenta um passo a passo para desenhar a palmilha de um original de Forma tamanho 39 do Brasil utilizando recursos geométricos. A seguir o passo a passo apresentado pelo autor:

1. Traçar a reta AB com o comprimento da palmilha ($39 \times 6,66 =$ aproximadamente 267mm);
2. Marcar o ponto B1 a $\frac{1}{3}$ da distância entre AB a partir de B ($267/3 = 89$ mm);
3. Determinar o comprimento CD: $CD = \frac{1}{3}$ do perímetro da articulação metatarsofalangeana (240mm) + 10% = $240 + 24/3 = 88$ mm;
4. Traçar a reta B1C perpendicular a AB a partir de B1 medindo $CD/2 - 7$ mm = $44 - 7 = 37$ mm;
5. Traçar a reta B1D perpendicular a AB a partir de B1 medindo $CD/2 + 7$ mm = $44 + 7 = 51$ mm;
6. Marcar o ponto E na reta B1D a 23mm de B1;

7. Traçar a reta DF paralela a AB medindo 20mm a partir de D em direção a A;
8. Traçar a reta AE;
9. Traçar a reta BG paralela a CD medindo 26mm a partir de B;
10. Traçar a reta BH paralela a CD medindo 23mm a partir de B;
11. Marcar o ponto E1 na reta AE medindo $\frac{1}{3}$ AB a partir de A;
12. Marcar o ponto E2 na reta AE medindo $\frac{5}{12}$ de AB a partir de A;
13. Traçar a reta AX perpendicular a AE medindo 10mm a partir de A;
14. Traçar a reta AY perpendicular a AE medindo 10mm a partir de A;
15. Traçar a reta IJ perpendicular a AE em E1 medindo $\frac{2}{3}$ de CF;
16. Traçar a reta LM perpendicular a AE em E2 medindo 53mm;
17. CD = Largura da articulação
18. IJ = Largura da base do calcanhar;
19. LM =Largura média do enfranque;
20. Unir os pontos CGLIX;
21. Unir os ponto YJMFDH;
22. Após a união dos pontos finalizar suavizando os cantos.

A Figura 21 apresenta o resultado do passo a passo indicado no vídeo [(4)TECNOLOGIA [...], 2020], com indicação dos pontos, retas e ângulos.

Figura 21: Desenho geométrico de palmilha de Forma.



Elaborado pelo autor. Fonte (4)Tecnologia (...), 2020.

Observações do vídeo 4 [(4)TECNOLOGIA [...], 2020]:

Com relação a suavização dos cantos destacam-se as curvaturas do calcanhar (retas IX e YJ), do bico (união das retas CG e CB e das retas EH e BH) e do enfranque (união das retas IL, LC e CG).

As uniões entre as extremidades das retas de largura do calcanhar (retas IL e JM) e enfranque e entre as extremidades das retas de largura da planta e a reta de referência da largura do bico (retas EH e CG) mantêm-se praticamente inalteradas, com exceção à curvatura próxima a extremidade do bico (entre as retas CG e CB e das retas EH e BH).

A suavização entre as retas IL, LC e CG possui um formato em “S”, sendo mais interno que a reta LC próximo ao ponto L.

Pontos para medição dos perímetros

No quinto vídeo do Curso de Medidas e Análise de Formas para Calçados (Unidades [...], 2020), após discorrer sobre a conversão entre os sistemas de medidas, o autor Antônio Carlos indica os pontos para medição dos perímetros e do comprimento da Forma com uma breve descrição do procedimento. Em seguida os procedimentos descritos no vídeo:

Articulação dos dedos

Encontra-se na articulação metatarso falangeana limitada pelo Joanete medial e a falange do dedo mínimo. Para medir parte-se com a fita métrica do meio da Forma, circulando a Forma na região da articulação, passando pela planta, que é a parte mais larga da palmilha;

Cintura

Encontra-se na região do enfranque mais próxima a região da articulação. Para medir parte-se com a fita métrica do meio da Forma, circulando a Forma na região da cintura, passando pela palmilha. Esta medida pode ser até 3mm menor que a medida da articulação dos dedos e é a medida que menos varia.

Peito

Encontra-se na região do enfranque. Para medir parte-se com a fita métrica do centro da Forma na região do peito do pé, onde há um osso saliente, circulando a Forma nessa região,

passando pela palmilha. Esta medida deve ser no mínimo 10mm maior que a medida da articulação dos dedos;

Chave menor

Para medir parte-se com a fita métrica do meio da Forma na região do peito, circulando a quina do calcanhar;

Chave média

Para medir parte-se com a fita métrica do meio da Forma na região da cintura, circulando a quina do calcanhar;

Chave maior

Para medir parte-se com a fita métrica do meio da Forma na região da articulação, circulando a quina do calcanhar (Unidades [...], 2020).

As informações obtidas sobre Formas não apresentam valores referentes ao perímetro ou a largura dos tornozelos. Esta informação foi buscada pelo autor deste PCC para complementar as informações referentes às Formas, uma vez que o topo das Formas representa, normalmente, uma seção quase horizontal do tornozelo humano.

Perímetro do tornozelo

O artigo publicado no site Critical Body por James Jackson (2022) apresenta dados de 5 estudos relacionados à medição dos tornozelos. O autor demonstra com imagens, auxiliadas por textos, como medir o perímetro e a largura dos tornozelos e também as tabelas com os valores destas medidas em polegadas e centímetros para os percentis entre 1 e 99 de ambos gêneros, masculino e feminino. O autor constata que a variação média entre o menor e maior valor é de 2 polegadas (508mm) tanto para o feminino quanto para o masculino.

O perímetro médio (percentil 50) para os tornozelos femininos é de 20,51cm e os percentis 1 e 99 medem 17,99cm e 23,54cm respectivamente.

A largura média (percentil 50) para os tornozelos femininos é de 6,43cm e os percentis 1 e 99 medem 5,72cm e 7,20cm respectivamente.

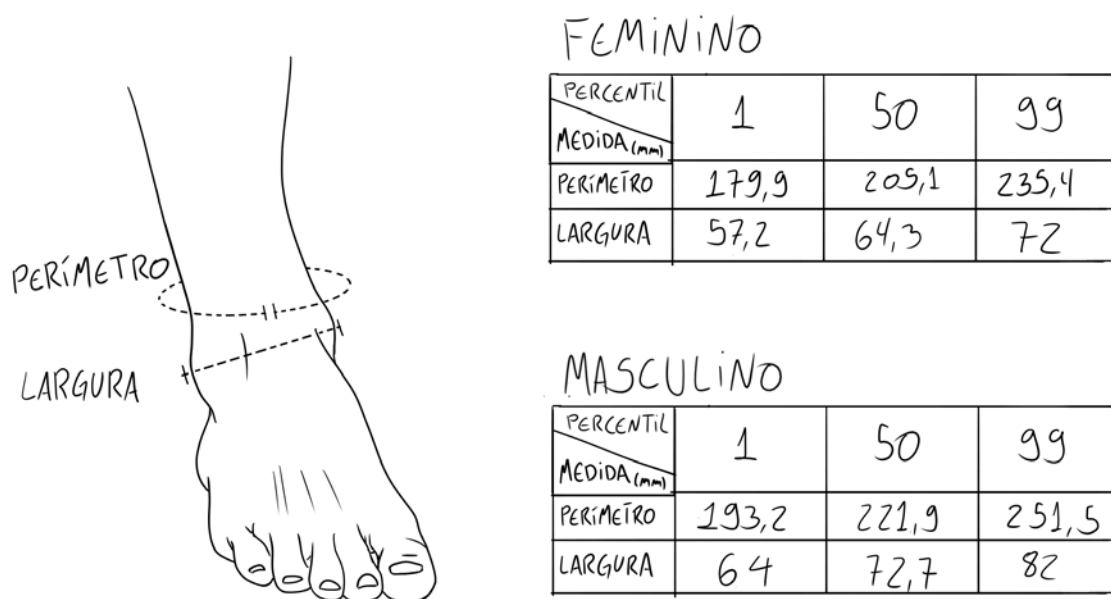
O perímetro médio (percentil 50) para os tornozelos masculinos é de 22,19cm e os percentis 1 e 99 medem 19,32cm e 25,15cm respectivamente.

A largura média (percentil 50) para os tornozelos masculinos é de 7,27cm e os percentis 1 e 99 medem 6,40cm e 8,20cm respectivamente.

O autor (Jackson, 2022) ainda indica que o perímetro dos tornozelos é medido acima dos maléolos e a largura é medida entre os pontos mais proeminentes de ambos maléolos, lateral e medial.

A figura 22 foi elaborada pelo autor para ilustrar as informações contidas no artigo de Jackson (2022). A esquerda na figura é possível observar a ilustração de um pé com a indicação dos locais para a medição do perímetro e largura do tornozelo; à direita na figura é possível visualizar os valores indicados pelo autor do artigo para ambas medidas de ambos gêneros, com identificação dos percentis 1 (um), 50 (cinquenta) e 99 (noventa e nove).

Figura 22: Perímetro e largura dos tornozelos



Elaborado pelo autor. Fonte Jackson, 2022.

Sistemas computadorizados

O autor Berwanger (2008) afirma que há no mercado uma variedade de soluções em sistemas computadorizados para a indústria calçadista e cita alguns exemplos utilizados como a digitalização dos pés, concepção, graduação e produção de Formas, modelagem em

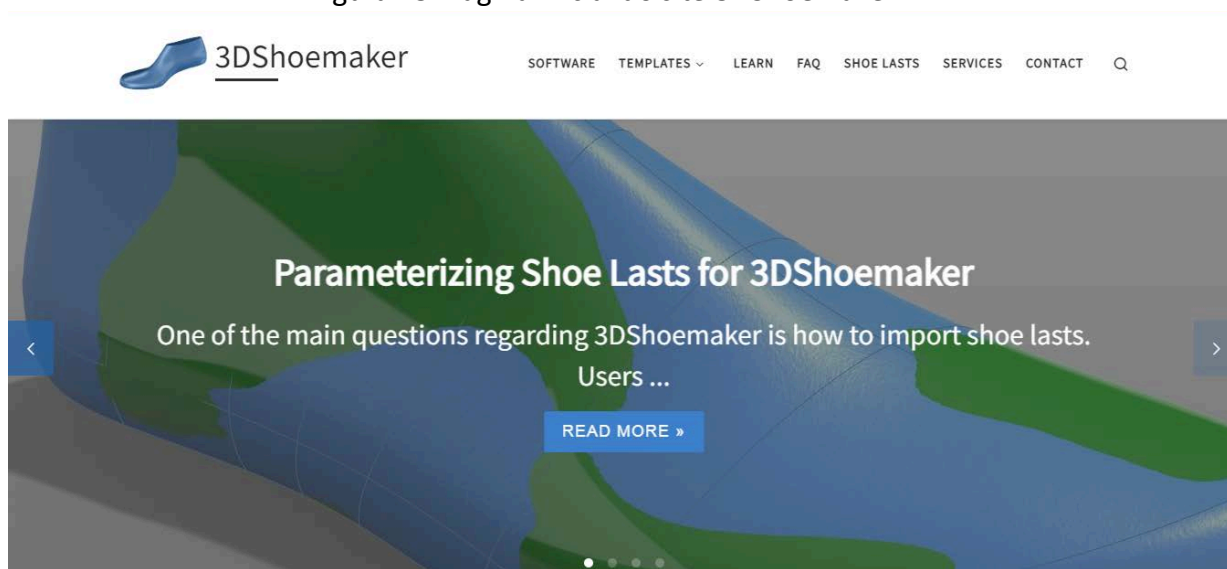
duas ou três dimensões e apresentações. Ele reforça diversas vezes que o setor está passando por modificações relacionadas a utilização destas soluções digitais no processo produtivo da indústria calçadista, iniciando com a utilização de computadores nas empresas para a modelagem dos calçados, que obrigou os fabricantes de Formas a oferecerem seus produtos também no ambiente digital, uma vez que o ponto de partida para a criação do modelo é a Forma. Em seguida, são apresentadas diferentes opções de *softwares* disponíveis no mercado para a produção de Formas para calçados que, em sua maioria, apresentam recursos indispensáveis restritos a pagamento.

Softwares de Formas

- 3DShoemaker

O *software* 3DShoemaker (2023) é um *plug-in* de Formas paramétricas para calçados compatível com o *software* de modelagem tridimensional Rhinoceros 3D versão 7. O *plug-in* é gratuito, porém os modelos de Formas são disponibilizados a um valor que vai de U\$ 40,00 (quarenta) a U\$ 180,00 (cento e oitenta) Dólares americanos (U\$) e o *software* Rhinoceros 3D também requer uma licença paga. A figura 23 apresenta a página inicial do site do produto 3DShoemaker.

Figura 23: Página inicial do *site* 3DShoemaker.



Fonte 3DSHOEMAKER, c2024.

Além dos modelos, o 3DShoemaker transforma facilmente curvas através da alteração de valores numéricos, como perímetros e larguras. No site do *plug-in* há uma área

com dicas e tutoriais sobre a utilização do *software*, onde é explicado que cada vez que uma Forma é desenvolvida dentro do 3DShoemaker a estrutura de curvas é criada totalmente por uma série de parâmetros customizáveis e as superfícies correspondem a essas curvas.

- *Shoemaster® by ATOM*

O *software* Shoemaster®, da empresa ATOM, segundo seu próprio site (SHOEMASTER, 2023) é uma plataforma que oferece uma variedade de sistemas computadorizados 2D e 3D para as diferentes áreas envolvidas na produção de calçados: design de calçados, controle de Produção, engenharia de calçados sob medida e também soluções para o mercado dos produtos de couro. A figura 24 apresenta a página inicial do site do *software* Shoemaster® na aba “Engineer”, onde há uma comparação entre diferentes Formas de um calçado de salto alto.

Figura 24: Página inicial do site Shoemaster® by ATOM na aba “Engineer”.



Fonte: SHOEMAKSTER,2023.

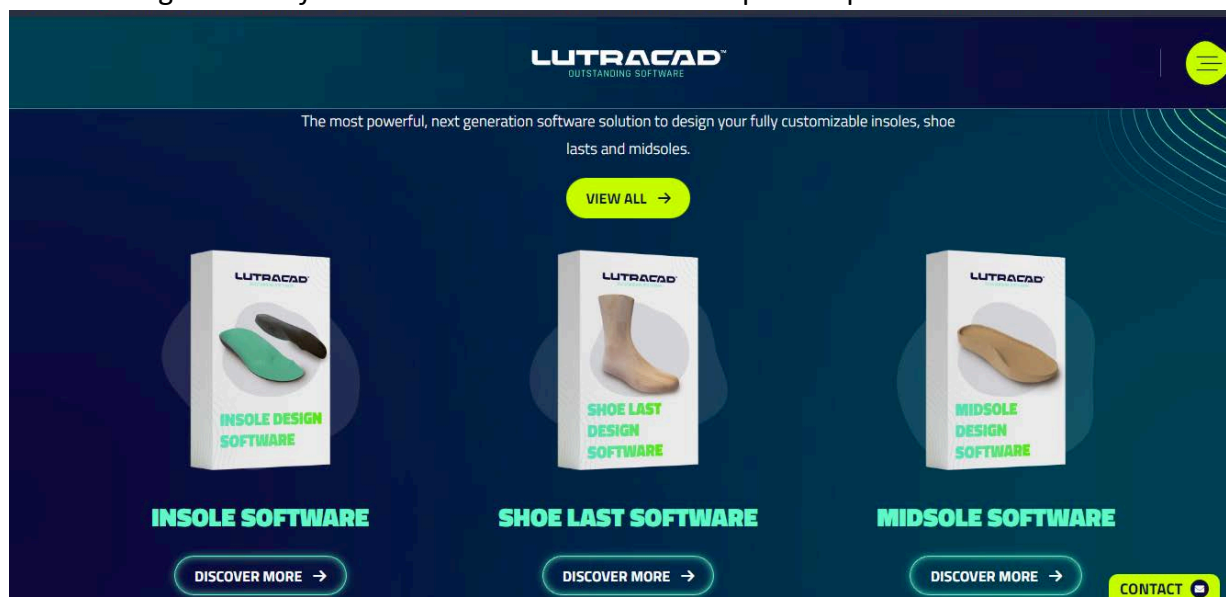
A empresa afirma que o software é amigável, fácil de aprender e pode ser usado para a produção de diferentes tipos de calçados, desde a alta moda até os calçados ortopédicos.

- *LutraCAD*

A empresa Lutracad™ comercializa uma gama de produtos para o design de calçados, dentre eles estão *softwares* para design de Formas, entressolas e palmilhas; e

também scanners de pés 2D e 3D. Em seu site, a Lutracad™ (2023b), afirma que com o *software* é possível conceber Formas de cano baixo, cano alto e sob medida seguindo um claro passo a passo (modo guiado) dentro do *software*, tornando-o fácil de aprender. A figura 25 mostra a página inicial do site da Lutracad™ onde estão apresentados os três *softwares* da empresa.

Figura 25: *Softwares* de Formas desenvolvidos pela empresa Lutracad™.



Fonte: LUTRACAD™, 2023b.

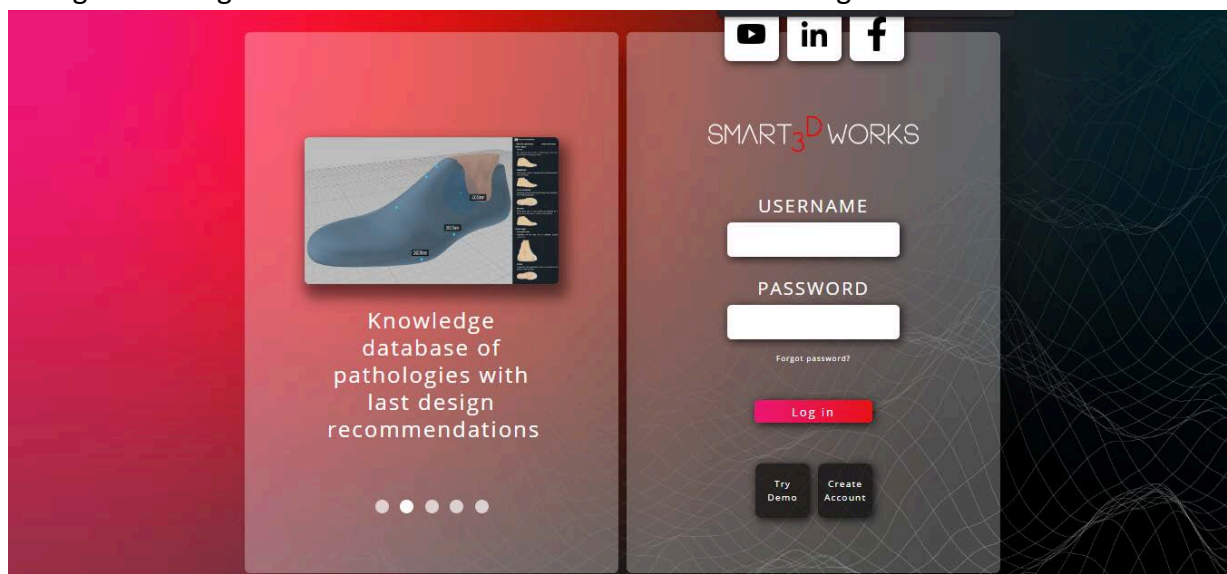
Há também uma biblioteca de Formas que pode ser expandida com os designs do usuário, digitalizados ou desenvolvidos digitalmente. As Formas desenvolvidas no *software* são facilmente integradas com os outros softwares da empresa e podem ser exportadas para pós-processamento em impressão 3D ou fresagem CNC (Controle Numérico Computadorizado).

- *Smart3DWorks*

O Smart3DWorks é um sistema de modelagem 3D *web*, que não necessita de instalação de qualquer *software* no computador (SMART3DWORKS... 2022). Na página inicial do *site* do sistema (SMART 3D WORKS,2023), apresentado na figura 26, há uma galeria que demonstra algumas funcionalidades do sistema: Pontos de referência automatizados para combinação do pé escaneado com a base de dados de Formas; base de dados sobre patologias com recomendações de design para os casos específicos; ajuste de

altura de salto e elevação do bico; ferramenta de ajuste de perímetro; e modo escultura para modificações finais.

Figura 26: Página inicial do *site* do sistema *on-line* de modelagem 3D Smart 3D Works.



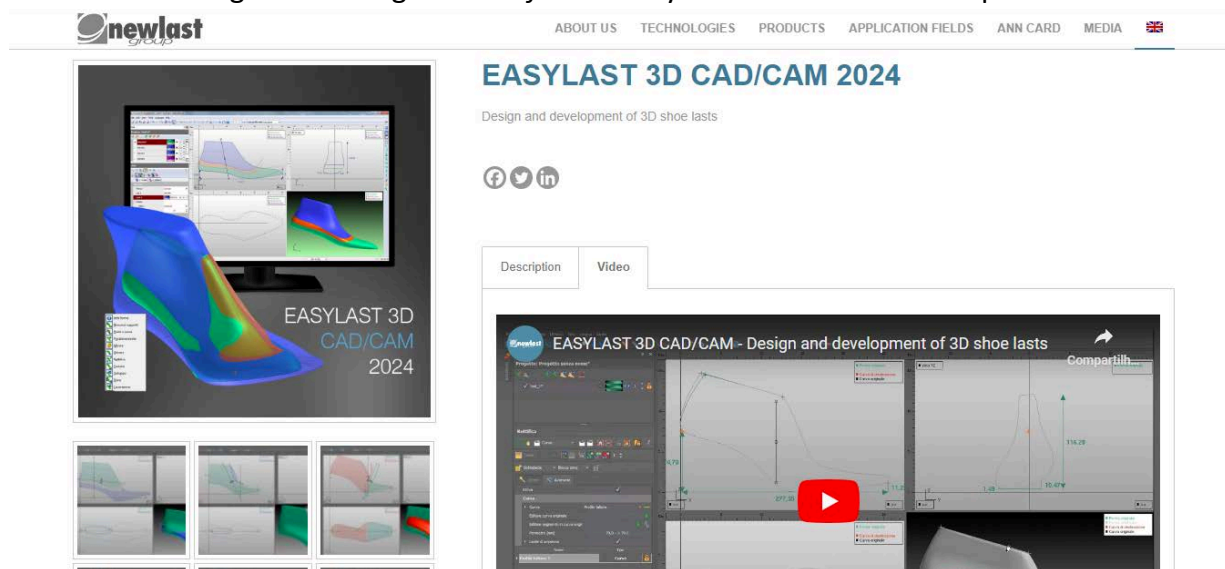
Fonte: SMART 3D WORKS, 2023.

No site (figura 26) há uma área para *login* e criação de conta, uma versão de demonstração do sistema com funcionalidades limitadas e *links* para redes sociais (o *link* com o símbolo do Youtube leva para um canal chamado Ortho Baltic, onde há vídeo com tutoriais sobre a utilização do *software*). Os modelos de Forma desenvolvidos no sistema podem ser baixados após o pagamento de uma quantia de € 5 (cinco Euros).

- *EasyLast 3D*

EasyLast 3D é um *software* para design e desenvolvimento de Formas para calçados. Segundo a empresa fabricante em seu *site* (NEWLAST GROUP, 2024), o *software* é completo e permite ao usuário facilmente importar, modificar e desenvolver modelos. Os valores não são informados e não há área para *download* do *software*, apenas um *link* de contato para mais informações. A figura 27 apresenta página do site referente ao *software* Easy Last 3D.

Figura 27: Imagens do *software* EasyLast 3D - NewLast Group.



Fonte: NEWLAST GROUP, 2024.

Calçados

Neste item são apresentadas as análises Diacrônica, Estrutural, Sincrônica, Funcional e de desgaste sobre os calçados, bem como processos de modelagem de calçados, considerações sobre as matérias primas mais utilizadas e os impactos ambientais causados pela indústria. Inicia-se com uma breve análise histórica, mundial e da produção no Brasil, passando pela análise estrutural, onde são apresentadas partes, tipos de montagem, alguns estilos de calçados citados pelos autores e a classificação quanto ao nível de solicitação, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O tópico é concluído com a apresentação de diretrizes para a modelagem dos calçados.

Análise Diacrônica

A análise diacrônica tem o objetivo de descrever uma linha do tempo do produto a ser desenvolvido, sua evolução quanto a design, materiais e processos produtivos que se destacaram durante um certo período de tempo.

Em sua dissertação de mestrado, Célia Costa (2013) apresenta uma extensa linha do tempo sobre os calçados, iniciando com os primeiros registros em pinturas rupestres datadas de dez mil anos antes de Cristo (10.000 a.C.), passando pelas civilizações egípcia, grega, romana, bizantina até chegar ao início da idade média. Neste período, já havia distinção entre os modelos abertos e fechados e os principais materiais, citados pela autora, utilizados para a confecção dos calçados eram folhas, palha entrelaçada, pele, couro, cortiça,

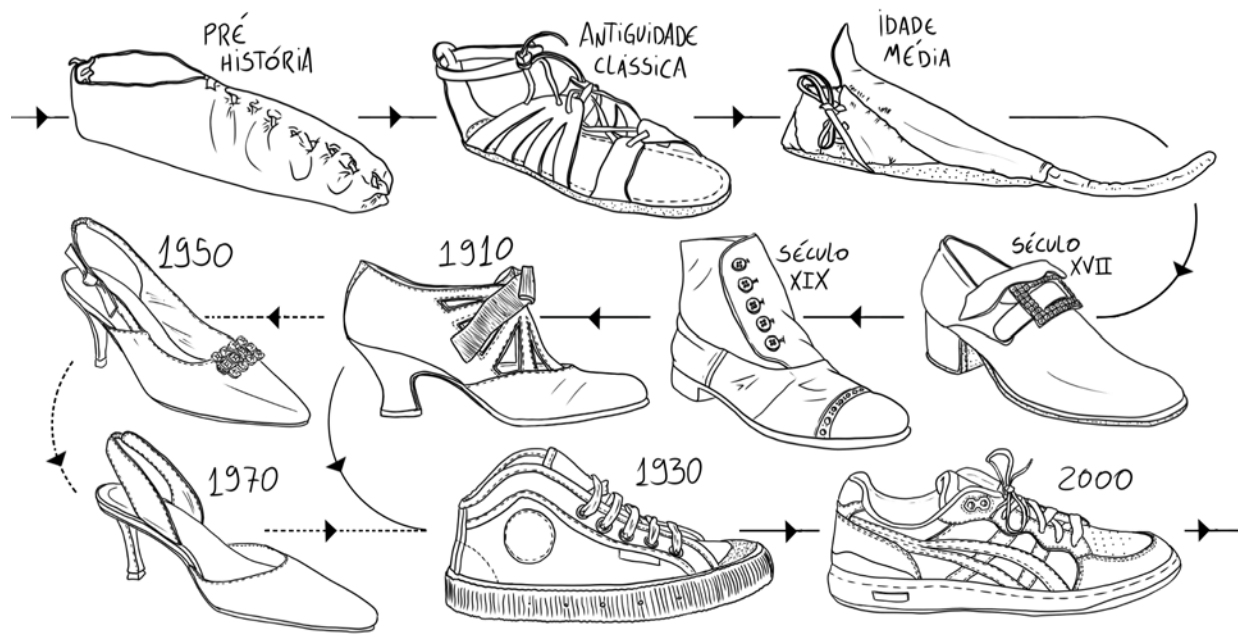
madeira e até pedras preciosas, que utilizadas junto com outros itens, expressavam características para distinguir socialmente os usuários. A partir da idade média os sapatos passam a ganhar mais atributos para indicação de classe social, há calçados para os soldados, para o clero e para a nobreza, estes atingiram um nível de extravagância elevado até o século XV. Nos séculos seguintes houve uma simplificação dos calçados e solados planos predominavam, apenas em meados do século XIX que os saltos voltam a aparecer. É neste período que surgem os primeiros maquinários para a produção calçadista e, no século seguinte, surge a profissão de sapateiro que abre muitas possibilidades para a inovação e a criatividade empregada na confecção dos modelos, geralmente voltados para a alta sociedade.

Neste período os tecidos naturais ou sintéticos já são amplamente utilizados na indústria calçadista, tecidos como o algodão e o *nylon* substituem o couro na composição do cabedal. No século XX surgem nos Estados Unidos os calçados do tipo tênis e o primeiro sapato de corrida é criado, feito de uma tira de tecido fixado a um solado de borracha vulcanizada, posteriormente adaptado para a prática de outros esportes. Até meados do século XX a autora não cita os tênis e expõe diversos modelos quase que exclusivamente femininos: sandálias, tamancos, sapatilhas entre outros. Na década de 1950 a cultura das ruas é transformada em moda e os tênis são amplamente utilizados pelos jovens, que criam estilos e necessidades específicas para os calçados, levando à utilização de diferentes materiais, seja pelas propriedades físicas ou estéticas de cada matéria-prima.

A composição dos calçados passa a contar com a presença de materiais derivados da indústria petroquímica, os polímeros possuem custo e massa reduzidos; e oferecem diferentes propriedades como a resistência, brilho, impermeabilidade etc. A inclusão dos calçados esportivos no mundo da moda acontece com um movimento de vida saudável e culto ao corpo, onde os atletas dos mais variados esportes são destaques no setor midiático das marcas. As questões ambientais inerentes ao século XXI trouxeram para o setor calçadista, bem como para o setor da moda em geral, a utilização de materiais reciclados, reutilizados e/ou derivados de fontes renováveis visa reduzir o impacto ambiental gerado pela produção dos calçados, alguns exemplos são o plástico reciclado, a borracha regenerada e a utilização de fibras naturais alternativas, como juta, coco, cânhamo entre outras, que podem acrescentar características ao material derivado destas fontes.

A figura 28 foi elaborada pelo autor para ilustrar a linha do tempo e a evolução dos calçados, baseando-se nas imagens e datas disponibilizadas na Visita Virtual do Museu do Calçado (2021).

Figura 28: Evolução dos calçados.



Elaborado pelo autor. Fonte: Costa, 2013; Museu do Calçado, 2021.

Kohan (2021) traz um breve histórico sobre a produção calçadista brasileira, que tem seus primórdios já no fim do século XIX com a fabricação rudimentar dos imigrantes europeus no Rio Grande do Sul, seguida, no século sucessor, pela adesão dos imigrantes, também europeus, na região Sudeste, incentivados pelo declínio da produção do café. Na década de vinte a produção no Brasil passou a se industrializar e a produção e as exportações só se tornaram significativas quarenta anos depois, passando por uma drástica expansão nas duas décadas seguintes. Atualmente as empresas calçadistas brasileiras estão divididas entre três polos nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, esta última mais focada no setor fabril em decorrência de vantagens trabalhistas, tributárias e financeiras.

O relatório da AbiCalçados (2021) mostra que a região Nordeste detém mais de cinquenta e quatro por cento da produção nacional, seguida pelas regiões Sul e Sudeste, com produções respectivas próximas a vinte e quatro e vinte e um por cento. As regiões Centro-Oeste e Norte representam menos de um por cento da produção nacional de

calçados. Mais especificamente, quanto às Unidades da Federação, os cinco principais produtores são: Ceará, Rio Grande do Sul, Paraíba, Minas Gerais e Bahia.

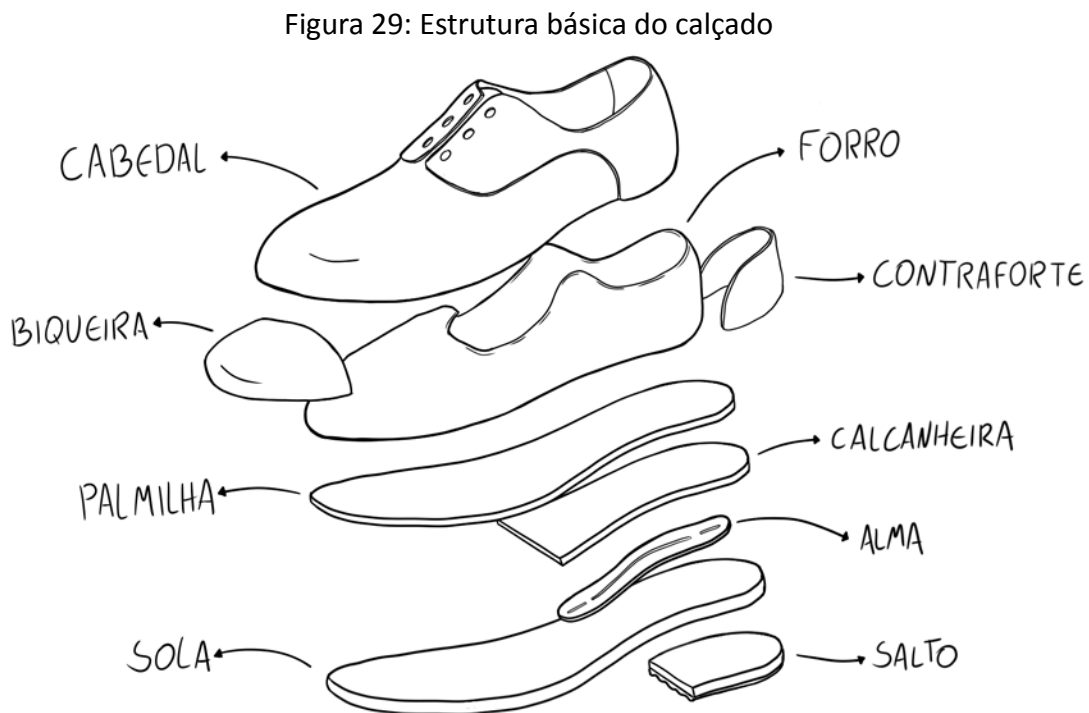
Quanto aos materiais utilizados para a fabricação de calçados no Brasil, a AbiCalçados (2021) relatou uma predominância do segmento Plástico/Borracha, seguido pelo segmento dos laminados sintéticos, couros, têxteis e materiais identificados como “outros”, respectivamente. O destaque para o segmento Plástico/Borracha pode ser melhor entendido com os dados relatados sobre o tipo de calçado produzido, onde metade da produção se concentrou na fabricação de chinelos. O segundo tipo de calçado mais produzido são os Casuais e Sociais, que compõem uma única categoria, seguido pelos tipos esportivos, de segurança e ortopédicos, respectivamente. Quanto à produção por gênero, a AbiCalçados (2021) relata que mais da metade dos calçados produzidos no Brasil são classificados como “Não Identificados” (calçados adultos sem gênero), seguido pelos gêneros Feminino, Masculino e os classificados como Infantis. O destaque para os calçados Não Identificados apoia-se também na produção de Chinelos, junto com alguns calçados do tipo Esportivo e os tipos de Segurança e Ortopédicos.

Análise Estrutural

A análise estrutural visa obter informações sobre as diferentes partes do produto, suas funções e formas dentro do produto final, bem como os métodos de produção utilizados, que também influenciam na concepção das várias partes. Para compor esta análise foram buscadas definições de diferentes autores em conjunto com a Norma Brasileira.

De acordo com Choklat (2012, p. 35) as partes que compõem a estrutura básica do sapato são: salto, sola, alma, forro, biqueira e contraforte. O autor descreve o local e a função exercida por cada componente no sapato, com adição dos itens: cabedal, calcanheira e palmilha (*Ibidem*, p. 34). Choklat afirma que o cabedal é composto por tudo que está acima da sola, portanto estão incluídos no cabedal os componentes: forro, contraforte, biqueira, calcanheira, palmilha e alma. A sola, segundo o autor, é a parte do sapato que toca o chão e seus componentes são identificados como : sola e salto. Baseado nisso, podemos assumir que os sapatos são divididos em duas principais partes onde todas as outras estão inseridas: sola e cabedal. Estas duas principais estruturas são unidas para formar o sapato, o cabedal normalmente é atrelado à palmilha (entressola e alma), que, posteriormente, é

unida à sola através de colagem e/ou costura do cabedal (palmilha - entressola e alma). A figura 29 representa a estrutura básica explodida de um calçado com os nove componentes citados por Choklat (2012): Salto, Sola, Alma, Forro, Biqueira, Contraforte, Cabedal, Palmilha e Calcanheira.



Fonte: elaborado pelo autor.

A NBR 13892 (ABNT, 2010) descreve em ordem alfabética 95 (noventa e cinco) termos empregados na fabricação e utilização de materiais destinados à construção inferior dos calçados e também suas partes. Dentre esta lista destaca-se o item número setenta e dois, que expõe um anexo com desenhos de quatorze tipos básicos de saltos de sapatos. Alguns termos estruturais importantes definidos pela NBR 13892 são: Construção Inferior do Calçado, Bico, Planta, Enfranque, Calcanhar, Salto, Solado, Sola, Unissola, Sola Caixa, Entressola, Meia-sola, Palmilha Interna, Palmilha de Montagem, Rouba-peso, Filete, e Relevô. Os termos da norma percorridos a seguir estão organizados em uma hierarquia definida pelo autor deste PCC, de forma que termos que aparecem na descrição de outros termos são apresentados previamente quando possível.

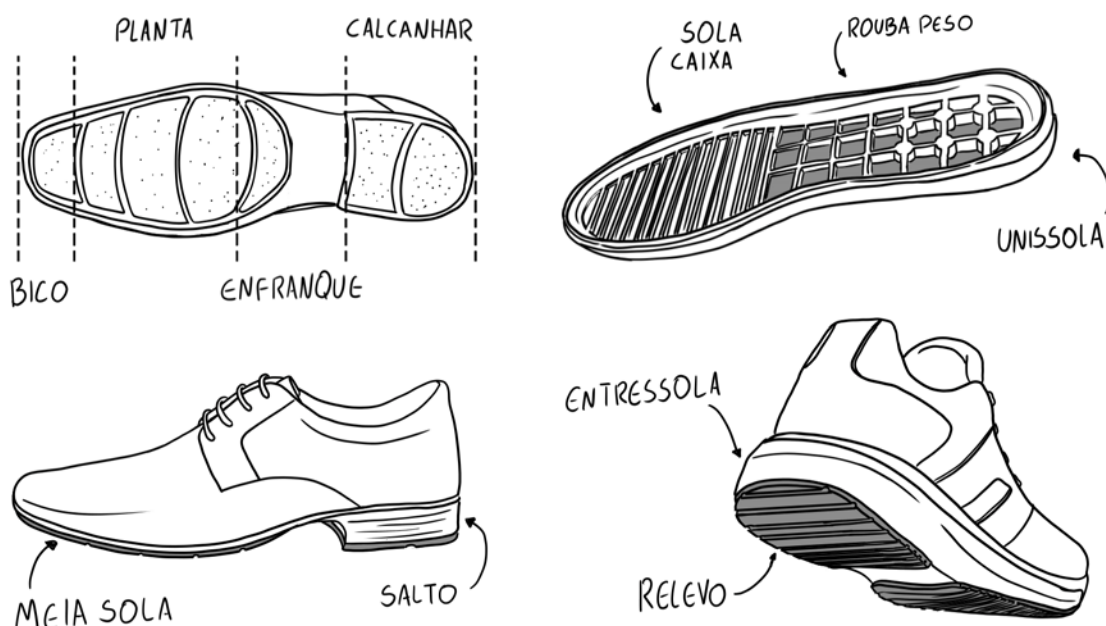
O termo “Construção inferior do calçado” é descrito como a parte do calçado constituída desde a palmilha de montagem até a superfície em contato com o solo. O termo

“bico” refere-se à parte mais anterior do calçado e compreende uma região de vinte milímetros em direção a região posterior. A planta é o termo que define a região posterior ao bico, onde acontece a dobra do calçado devido à flexão dos dedos na região da articulação metatarsofalangeana. Seguindo na direção do posterior, o próximo termo é o “Enfranche” e, segundo a norma, se estende até a região do salto. O “Calcanhar” é descrito como parte mais posterior do solado, onde está localizado o salto. O “Salto” é a peça da construção inferior do calçado que abrange a parte do calcanhar e enfranche, variando de altura e formado de acordo com o modelo. A terminologia normativa descreve o “Solado” como o conjunto inferior do calçado sobre a qual o pé fica apoiado e a parte inferior entra em contato com o solo, excluindo a palmilha.

O termo “Sola” é referente a parte que fica em contato com o solo e pode ou não cobrir toda a face inferior do calçado. “Unissola” é o termo que define o solado formado por um único componente. Para denominar o solado com abas laterais que envolvem total ou parcialmente o contorno do cabedal até certa altura é utilizado o termo “Sola-caixa”. A “Entressola” está descrita na norma como uma camada de material inserida entre a palmilha de montagem e a sola ou entre a sola e o cabedal. “Meia-sola” é o termo referente à parte da construção inferior do calçado que entra em contato com o solo, normalmente abrangendo apenas as regiões do bico e a planta. O termo “Palmilha Interna” é empregado para descrever a palmilha que fica em contato direto com o pé, também chamada de palmilha de acabamento.

O termo “Palmilha de montagem” é descrito como a palmilha localizada na parte interna do calçado, possuindo função estrutural e ao unir as partes inferior e superior do calçado. O “Rouba-peso” é o termo usado para denominar as cavidades ou espaços vazios nos interiores de solados e saltos, essas cavidades têm a função de reduzir a massa do calçado, economizando matéria-prima. A parte denominada como “filete” refere-se a uma tira estreita e fina colada entre entressolas ou sobre a sola, com objetivo estético. O termo “Relevo” é utilizado para descrever as reentrâncias desenhadas na face inferior da sola e/ou solado com função de otimizar o atrito com o solo ou apenas por estética. A Figura 30 representa alguns dos termos presentes na norma (ABNT, 2010) destacados pelo autor, como Bico, Planta, Enfranche, Calcanhar, Meia-sola, Salto, Sola caixa, Rouba-Peso, Unissola, Entressola e Relevo.

Figura 30: Termos da construção inferior do calçado.



Elaborado pelo autor. Fonte: ABNT, 2010.

A NBR 16056 (ABNT, 2020) exibe uma tabela com sete tipos de construção do calçado organizados em ordem alfabética de “A” a “G”, com descrições (e ilustrações que as complementam) para cada um. O tipo “A” é descrito como montagem convencional, a sola é colada ou com montagem direta e possui uma margem estendida. O tipo “B” é semelhante ao predecessor: montagem convencional, sola colada ou com montagem direta. A diferença está na ausência da margem estendida para o segundo tipo. Seguindo a ordem alfabética, o tipo “C” também é descrito como calçado de montagem convencional. Este possui a sola injetada ou vulcanizada diretamente no cabedal, podendo também, a sola, ser unida ao cabedal pelo método de colagem. Neste tipo a ilustração representa o cabedal parcialmente coberto pela sola, como se fosse uma sola caixa ou unissola. No tipo “D”, a ilustração também indica uma sola caixa ou unissola injetada ou vulcanizada diretamente no cabedal, semelhante ao anterior, porém, com a palmilha de acabamento costurada ou costura Strobel. O tipo seguinte, tipo “E” também possui palmilha de acabamento costurada ou costura Strobel, mas a sola é descrita como possuindo uma banda de proteção colada. Na ilustração referente ao tipo “E” há a representação de um material que cobre parcialmente o cabedal, porém visivelmente distinta das representações dos tipos “C” e “D”. O tipo “F” é descrito como possuindo a entressola ou a palmilha costurada diretamente no cabedal e a

sola é unida através de colagem. O último tipo, “G”, é descrito como uma sola moldada ou pré-fabricada com múltiplas camadas. O manual do Centro de Formação Profissional da Indústria do Calçado (2017), CFPIC, indica também, no seu item 1.4, sete tipos de construção de calçados com suas variações, características e processos, após descrever a montagem do calçado como o processo onde o corte é fixado à palmilha de montagem. No segundo item deste manual o autor afirma que os métodos de montagem envolvem os diferentes processos de ligação entre os elementos corte, palmilha e sola, variando de acordo com a maneira que as partes superior e inferior do calçado são unidas.

O primeiro sistema descrito pelo autor deste manual é o Sistema de montagem plana, apontado como o mais comum entre os diversos tipos de calçados e materiais. No sistema de montagem plana a borda da parte superior do cabedal (corte) é dobrada e colada sobre a face inferior da palmilha de montagem, formando o cabedal que por sua vez é unido à sola também por cola e/ou pregos.

O segundo tipo de montagem deste manual é o Pratik e se caracteriza por ter a borda do corte dobrada para fora e costurada sobre a palmilha de montagem para formar o cabedal que também pode ser unido à sola por costura, desde que esta tenha uma margem estendida. O próximo sistema demonstrado pelo autor é o Tubular e sua principal distinção é a costura da palmilha à gáspea, formando uma espécie de saco onde a forma é inserida sob pressão, este sistema é utilizado em muitos sapatos de conforto, esportivos e de segurança. Há três tipos de sistemas tubulares diferenciados pela maneira que a gáspea é unida à palmilha de montagem: Califórnia, Strobel e Mocassim.

No tipo Califórnia não há montagem propriamente dita, a imagem mostra um corte transversal com três camadas costuradas próximas a borda, a camada mais interna representa a palmilha, a camada central representa o corte (parte superior do cabedal) e a camada mais externa representa o revirão, que é dobrado para dentro sobre a face inferior da entressola. A sola é colada sobre a entressola e o revirão. Na Montagem Strobel o corte é costurado à palmilha e ganhou este nome pelo equipamento utilizado: a máquina Strobel.

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (2013), SBRT, afirma que o Sistema Strobel se diferencia pela ausência de margem para costura na região do corte, este é interrompido exatamente na quina da forma e a máquina une o corte a palmilha de montagem através de costura feita pela máquina e a sola pode ser colada ou injetada diretamente no cabedal. Voltando às variações de montagem tubular do CFPIC (2017), a última apresentada é a

montagem Mocassim. O autor afirma que originalmente este tipo de calçado não possui sola, atualmente a sola é costurada à palmilha. Neste tipo de calçado a palmilha é estendida, cobrindo toda a superfície plantar e lateral, o cabedal é finalizado com uma peça costurada na borda superior do tecido que forma a lateral, na parte anterior, região que cobre os dedos e parte do dorso do pé.

O próximo sistema de montagem é denominado como String, o corte é estendido para cobrir a borda da face inferior da palmilha de montagem. Na borda do corte é aplicado um fio forte através de uma máquina específica e após ser colocado sobre a forma o fio é firmemente esticado, fazendo com que a gáspea seja pressionada contra a forma. Uma das imagens mostra as pontas deste fio amarradas sobre a forma, na região da planta e o autor finaliza este sistema afirmando que é muito utilizado em sapatos com o solado injetado. O próximo no manual é o sistema de montagem Goodyear, composto por: corte, palmilha de montagem, enchimento, entressola, vira e sola. A palmilha de montagem possui uma aba que cobre toda a sua borda inferior, a esta aba são costurados o corte e a vira. A vira costurada ao corte é voltada para fora, semelhante ao sistema tubular Califórnia descrito anteriormente, e a sua outra borda é costurada à sola ou à entressola. O enchimento é indicado como composto de cortiça e é colocado para preencher o espaço entre a palmilha de montagem e o solado criado pela altura da aba da palmilha, servindo também para proporcionar mais conforto ou absorção de impactos. A costura que une a vira ao corte e a palmilha é uma costura de Ponto Corrente de um único fio (*Single Thread Chainstitch*) e a costura que une a vira ao solado é uma costura de Ponto Fixo com dois fios (*Double Thread Lockstitch*).

Na montagem por Vulcanização, próximo sistema explanado pelo autor, o corte é preparado de forma semelhante aos sistemas: Califórnia, Mocassim ou String. O corte é colocado sobre uma forma metálica e são colocadas tiras de borracha sobre um molde que é fechado com a forma e aquecido para que a borracha seja vulcanizada no formato desejado ao mesmo tempo que é unida ao cabedal que envolve a forma. O último sistema descrito no manual é a montagem por Injeção, e os autores afirmam que pode ser utilizado em qualquer tipo de montagem, mas é mais comumente utilizados nos sistemas: Tubular, Mocassim e String. O cabedal é colocado sobre a forma de metal com uma calcanheira e o molde do

solado é fechado com a forma para ser preenchido com o polímero fundido (PU, TR³ ou PVC).

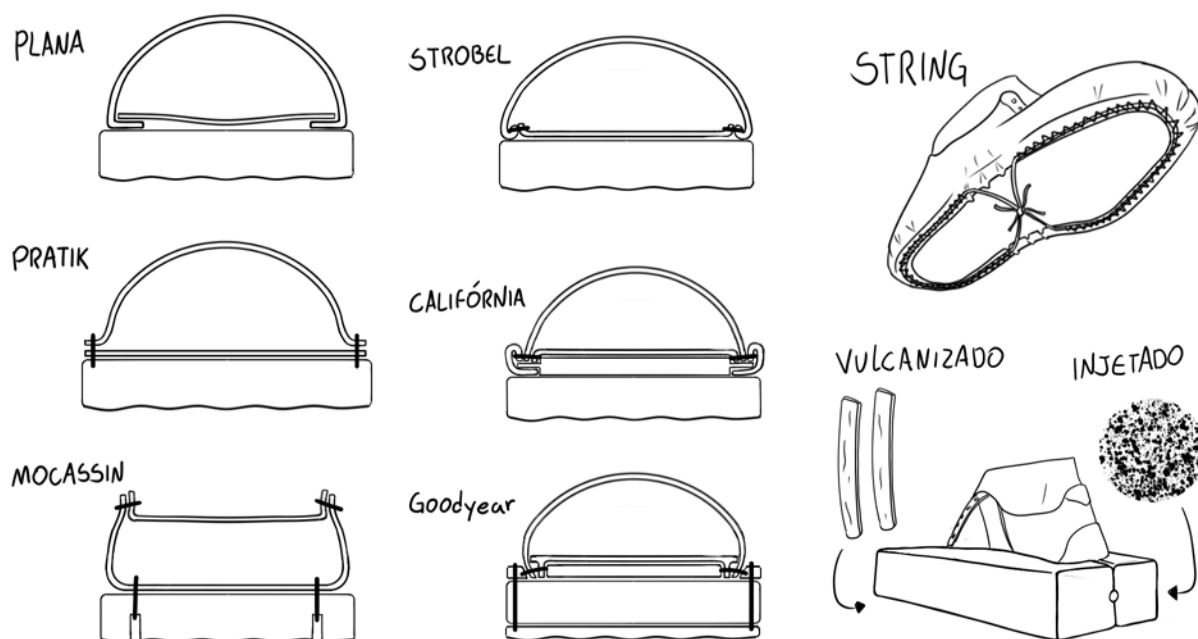
A NBR 13892 (ABNT, 2010), referente à terminologia da construção inferior do calçado, descreve os processos de Injeção e Vulcanização do solado diretamente no cabedal, também descreve o que é um produto injetado e a borracha vulcanizada. Os termos definidos nesta norma podem complementar os dois últimos processos de montagem descritos anteriormente pelo CFPIC (2017): Montagem por Vulcanização e Montagem por Injeção. Para NBR 13892 (ABNT, 2010) o produto injetado é obtido a partir da introdução sob pressão de uma composição polimérica moldável fundida dentro de um molde, geralmente aplicada a termoplásticos (polímeros que permitem fusão por aquecimento e solidificação por resfriamento, passíveis de reciclagem).

A injeção do solado diretamente no cabedal é descrita como a forma em que as duas partes, superior e inferior, são unidas através de um processo no qual o cabedal montado é enformado e posicionado sobre a matriz que receberá a injeção do polímero fundido. A borracha vulcanizada é descrita pela norma como a borracha que foi reticulada exclusivamente por enxofre, em caso de outro agente reticulante o material deve ser descrito apenas como “borracha reticulada”. A vulcanização do solado diretamente no cabedal é descrita como a forma de união entre o solado e o cabedal através do processo de vulcanização que pode ser realizado de duas maneiras. Na primeira o cabedal é enformado e recebe uma camada de borracha, que é moldada e vulcanizada através do processo chamado de autoclave.

Na segunda a borracha é colocada dentro da matriz do solado e o cabedal enformado é colocado sobre esta matriz, o conjunto então é prensado e vulcanizado ao mesmo tempo. A figura 31 mostra alguns dos métodos de montagem apresentados no manual da CFPIC (2017).

³ *Thermoplastic Rubber* - Borracha Termoplástica

Figura 31: Métodos de montagem



Elaborado pelo autor. Fonte: Adaptado de CFPIC, 2017.

Em sua dissertação, Célia Costa (2013), dedicou um capítulo para a palmilha de montagem, ressaltando a sua importância na composição do calçado, pois é ela que contém o formato da planta do pé, servindo de base para a fixação do corte e é responsável pela fixação do cabedal ao solado. A autora também indica que o material utilizado para confecção da palmilha de montagem deve ser flexível, de preferência papelão ou não-tecido, conter propriedades de absorção e dessorção do suor e ser resistente à pressão exercida pelo pé ao caminhar.

A NBR 16129 (ABNT, 2021b) determina as marcações das regiões do calçado, visando a realização de testes físicos em calçados prontos. O calçado é dividido em quatro partes: Bico, Planta, Enfrangue e Traseiro; sendo o bico a parte mais anterior e o traseiro a parte mais inferior. Para a realização destas marcações a norma descreve o costado como o ponto mais saliente da lateral interna ou externa do calçado, para encontrar este ponto o calçado deve ser posicionado lateralmente em um ângulo próximo à noventa graus sobre uma superfície plana, de forma que a lateral fique apoiada na superfície. O ponto de maior contato da região anterior representa o costado. Ao marcar os costados em ambas laterais, interna e externa, e uni-los com uma linha reta obtém-se um segmento de reta com uma certa inclinação que é deslocado aproximadamente dez milímetros em direção à região

traseira para a delimitação da região da planta. O bico é delimitado ao posicionar o segmento de reta inclinado na parte da extremidade anterior do calçado e deslocá-lo vinte milímetros em direção a parte traseira, esta linha delimita também a parte anterior da planta. Para a delimitação da região traseira do calçado é preciso dividir o número do calçado, referente ao sistema de ponto francês utilizado no Brasil, por cinco, o exemplo utilizado pelo texto da norma é um calçado de numeração trinta e cinco, portanto o resultado dessa divisão representa em centímetros a extensão da região do traseiro, que é medida da extremidade posterior em direção ao bico.

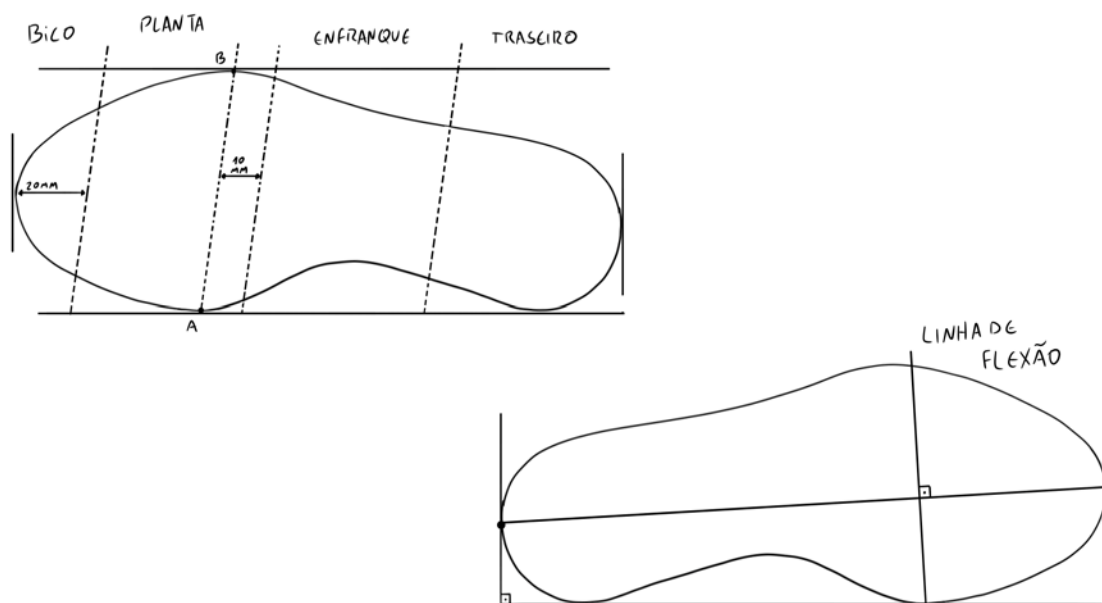
A região entre a delimitação posterior da planta e a delimitação anterior do traseiro representa a região do enfranque. A NBR ISO 17707 (ABNT, 2017b) especifica um método para determinação da resistência à flexão de solas e descreve no item 6.1 - Preparação dos Corpos de Prova, páginas quatro e cinco, a marcação da linha de flexão. Esta linha é marcada perpendicularmente ao eixo longitudinal resultante da união entre os pontos extremos anterior e posterior, na distância da terça parte deste eixo na região anterior. Na NBR 15171 (ABNT, 2017a) a linha de flexão é determinada de maneira semelhante à NBR ISO 17707 (ABNT, 2017b) citada anteriormente, com diferença de que esta utiliza apenas a sola como corpo de prova, enquanto que aquela utiliza o calçado inteiro com um preenchimento.

A marcação do eixo longitudinal é feita a partir da união dos pontos centrais dos arcos do calcanhar e do bico. O primeiro ponto da linha de flexão é determinado pelo ponto que tangencia a lateral interna da sola quando posicionada em um ângulo de noventa graus sobre uma superfície plana e a partir deste ponto é traçada uma linha perpendicular ao eixo longitudinal em direção à lateral externa do calçado. Este ponto tangente utilizado para a marcação da linha de flexão na NBR 15171 (ABNT, 2017a) é descrito como “Costado interno” na NBR 16129 (ABNT, 2021b). Na NBR 14456 (ABNT, 2008) é utilizada a mesma marcação de linha de flexão descrita na NBR 17707 (ABNT, 2017b) para a marcação da linha de dobra dos dedos. Esta linha é marcada perpendicularmente à linha de flexão, à uma distância definida em milímetros em direção ao bico seguindo o eixo longitudinal.

Para calçados femininos, de número de calce trinta e dois até o número quarenta e um, a distância entre a linha de flexão e a linha de dobra dos dedos varia entre quarenta e cinco e sessenta e dois milímetros, aumentando ou diminuindo dois milímetros a cada numeração, com exceção do número trinta e quatro que varia apenas um milímetro em relação ao anterior. Para calçados masculinos, de número de calce trinta e sete até o

número quarenta e cinco, a distância entre a linha de flexão e a linha de dobra dos dedos varia entre cinquenta e cinco e setenta milímetros, aumentando ou diminuindo dois milímetros a cada numeração, com exceção do número quarenta e um que varia apenas um milímetro em relação ao anterior. Para calçados infantis e juvenis não há distinção entre masculino e feminino e a distância entre as linhas varia semelhantemente aos calçados adultos a cada numeração: dois milímetros com alguma exceção variando apenas um milímetro. A figura 32 mostra a marcação das regiões e da linha de flexão, conforme a orientação das normas NBR 16129 (ABNT, 2021b) e NBR 15171 (ABNT, 2016).

Figura 32: Marcações



Elaborado pelo autor. Fonte: Adaptado de ABNT, 2016; 2021b.

A NBR 14835 (ABNT, 2021a) descreve o método para a determinação da massa do calçado e aponta o nível de conforto do calçado em relação a essa variável. Para calçados femininos adultos de numeração 35, 36 e 37 serem considerados confortáveis a suas massas devem ser iguais ou menores que 240, 252, e 265 gramas (g), respectivamente e, para serem considerados normais devem, seguindo a respectiva ordem, apresentar massas iguais ou menores a 380, 399 e 419 gramas. Acima destes valores os calçados são classificados como desconfortáveis. Para calçados masculinos adultos de numeração 40, 41 e 42 serem considerados confortáveis a suas massas devem ser iguais ou menores que 340, 357, e 375

gramas, respectivamente e, para serem considerados normais devem, seguindo a respectiva ordem, apresentar massas iguais ou menores a 480, 504 e 529 gramas. Acima destes valores os calçados são classificados como desconfortáveis. Esta norma apresenta outros valores para calçados infantis, de segurança e coturnos ou botas de cano alto.

Estilos de Calçados

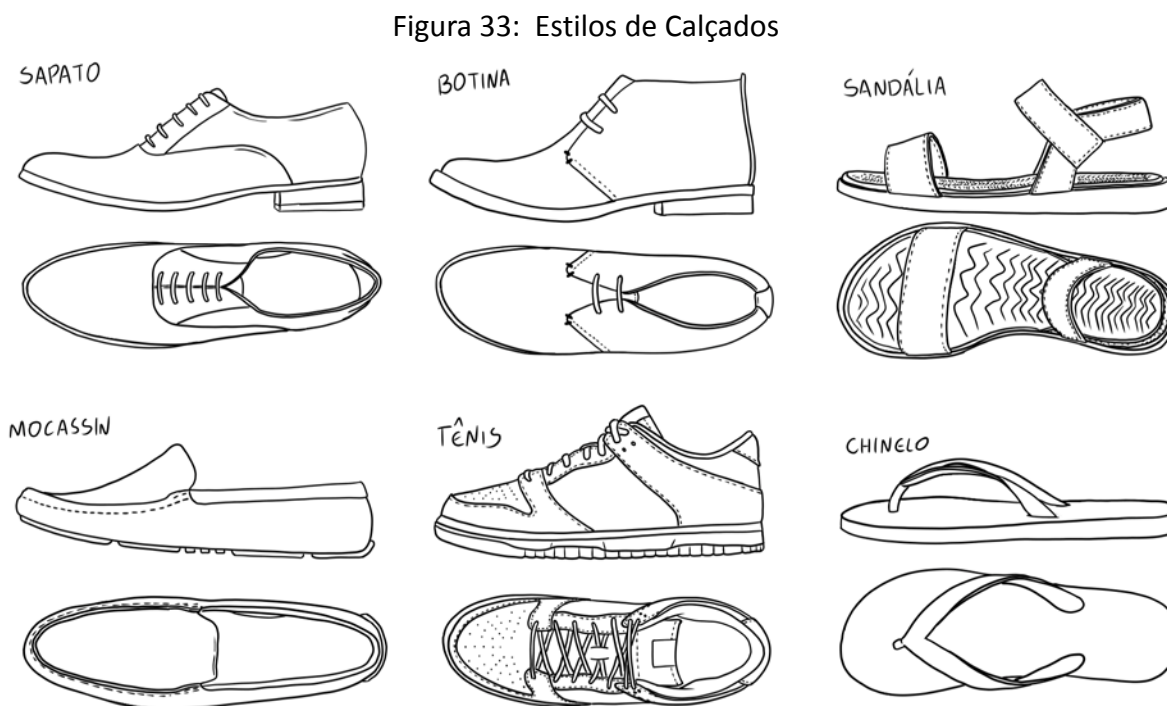
Schmidt (2007) afirma que apesar da infinita variedade de modelos ofertados no mercado de calçados, os calçados podem ser classificados em pouco mais de uma dúzia de modelos básicos que são renovados a cada coleção. São citados pelo autor os modelos: Inglês, Napolitano, Decotado, Sapatilha, Chanel, Sandálias masculinas ou femininas, Sandálias de dedo, Huarache, Esportivo com elástico, Casual com pala e atacador, Casual com elástico, Mocassim, Bota, Abotinado e Tênis.

No livro de Choklat (2012, p. 46 a 49) são indicados alguns dos principais estilos de sapatos e dentre estes, os modelos: Oxford, Derby, Sandália, Escarpin, Bota e Mule; são descritos como agêneros. Com base ainda nos estilos expostos nessa parte do livro, podemos incluir nessa lista: Slip-ons, Mocassins, Tênis, e até o estilo Babuche. Observando os modelos apresentados, nota-se que muitos estilos de sapatos utilizam o mesmo modelo de sola com um salto baixo, exemplos: Oxford, Botas, Slip-ons etc; e diferenciam-se pelo cabedal. O autor afirma que o cabedal é importante para a identidade do sapato, um exemplo claro se dá com os modelos Oxford e Derby, onde a diferença entre eles está basicamente na diferente sobreposição das partes costuradas no cabedal, identificadas como talões e gáspea (*Ibidem*, p. 46). Além dos sapatos de salto baixo são demonstrados também sapatos de salto médio (exemplo: Mules, Peep-toes, Escarpins etc.), alto (exemplos: Sandálias, D'Orsays, Sling Backs etc.) e os modelos sem salto (exemplos: Tênis e Mocassins).

A NBR 16453 (ABNT, 2021c) classifica os tipos de calçados em cinco tipos: Calçados de classe I - Calçados de Solicitação e/ou Desempenho (Calçados militares, de segurança, desportivos ou para climas extremos). Calçados de classe II: Calçados masculinos e femininos de média a alta solicitação (Calçados esportivos gerais e calçados escolares). Calçados de classe III: Calçados masculinos, femininos ou infantis de média a baixa solicitação (calçados casuais e de uso diário). Calçados de classe IV: Calçados de baixa solicitação (calçados de moda, para bebês de colo ou de uso interno em casa). Em nota

nesta norma a ABNT (2021c) sugere que as classificações não indicam qualidade superior ou inferior e que o fabricante é quem enquadra o calçado dentre as classificações.

A figura 33 ilustra alguns dos estilos de calçado citados por Choklat (2012) e Schmidt (2007).



Elaborado pelo autor. Fonte: Adaptado de Chocklat, 2012; Schmidt, 2007.

Modelagem de Calçados

A etapa de modelagem do calçado, de acordo com Schmidt (2007), inicia com o desenho do modelo sobre o corpo de forma, considerando fatores técnicos e estéticos para garantir ao calçado um calce adequado. Esta metodologia, definida pelo autor como Linhas Básicas, consiste na marcação de pontos e linhas que guiarão a etapa de desenho e modelagem do calçado desenvolvido. O autor apresenta o passo a passo para a marcação destas linhas básicas, iniciando com os passos preliminares antes da marcação das linhas básicas propriamente ditas. O passo a passo será apresentado a seguir.

Linhas preliminares

As linhas e pontos traçados nesta etapa, denominados pelo autor (Schmidt, 2007) como passos preliminares, são: Linha do meio da gáspea; Linha do meio do calcanhar;

Comprimento real da Forma; Marcação do ponto R; Marcação do ponto 30; Marcação do ponto 20.

- *Marcação da Linha do meio da gáspea*

Para traçar a linha do meio da gáspea é necessário marcar e unir os pontos do meio bico e do meio da chave na região anterior. O ponto do meio do bico deve seguir o eixo da palmilha.

- *Marcação da Linha do meio do calcanhar*

Para traçar a linha do meio do calcanhar é preciso marcar e unir os pontos do meio do calcanhar e do meio da chave na região posterior. O ponto do meio do calcanhar deve seguir o eixo da palmilha.

- *Marcação do Comprimento Real da Forma*

O comprimento real da Forma (CR) é mensurado sobre o eixo da palmilha (união entre os pontos do meio do calcanhar e do meio do bico) na direção calcanhar - bico; e é determinado pelo sistema de medidas. No caso do sistema de Ponto Francês utilizado no Brasil, o valor do comprimento real corresponde ao número do calçado multiplicado por um Ponto Francês (6,66 mm).

- *Marcação do Ponto R*

Este passo consiste em projetar o comprimento real da Forma, ponto "CR" marcado sobre o eixo da palmilha na base da forma, para a linha do meio da gáspea, localizada na parte superior da forma, através de uma linha perpendicular ao plano da base.

- *Marcação do Ponto 30*

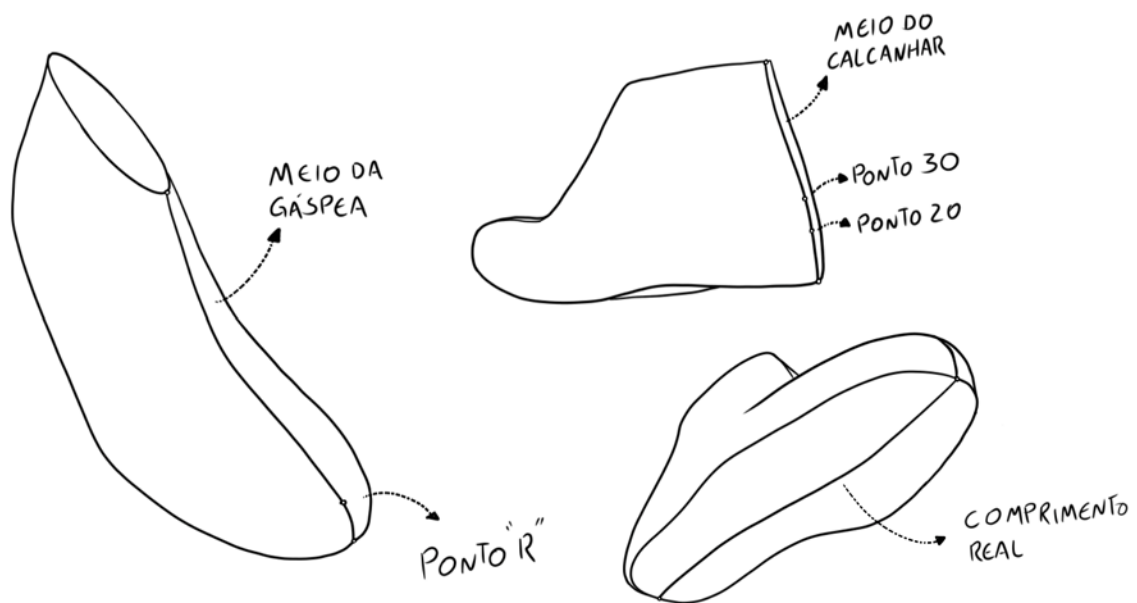
O ponto 30 é marcado sobre a linha do meio do calcanhar e indica a parte mais proeminente da região posterior da Forma. Este ponto é medido a partir do ponto do meio do calcanhar em direção ao ponto do meio da chave na região posterior e a distância corresponde à numeração da forma em pontos franceses menos 5 mm (ex. 40 - 5 = 35 mm).

- *Marcação do Ponto 20*

O ponto 20 é também marcado sobre a linha do meio do calcanhar e medido a partir do ponto do meio do calcanhar em direção ao ponto do meio da chave na região posterior e a distância corresponde à numeração da Forma em pontos franceses menos 15 mm (ex. 40 - 15 = 25 mm). Portanto, o Ponto 20 pode ser encontrado também 10mm abaixo do Ponto 30 sobre a linha do meio do calcanhar.

A figura 34 mostra o resultado da marcação dos pontos e linhas preliminares, conforme descrito nos passos anteriores.

Figura 34: Linhas preliminares de modelagem



Elaborado pelo autor. Fonte: Adaptado de Schmidt, 2007.

Linhas Básicas

O passo a passo descrito por Schmidt (2007) para traçar as Linhas Básicas consiste na marcação e união de onze pontos identificados por letras em ordem alfabética de A a L.

- Ponto A

O ponto A, ou Ponto de elevação, é marcado perpendicularmente a Linha do meio da gáspea em direção a um ponto localizado a $\frac{2}{3}$ da linha lateral que une os pontos 30 e R, na direção calcanhar - bico. Portanto deve-se traçar uma linha na lateral da forma unindo os pontos 30 e R. Nesta linha, a partir do ponto 30, deve-se medir e marcar o ponto

correspondente a $\frac{2}{3}$ do seu comprimento (Ponto X). Com uma linha perpendicular a Linha do meio da gáspea tocar o ponto marcado sobre a linha 30-R.

- *Ponto B*

O ponto B, ou ponto alto do dorso do pé, é mensurado e marcado a partir do Ponto A, sobre a linha do meio da gáspea em direção ao ponto do meio da chave na região anterior. A distância entre os pontos A e B é definida pelo número da Forma em pontos franceses e, segundo o autor (Schmidt, 2007), para uma numeração 35 o valor é de 60mm. Para as demais numerações a progressão, ou regressão, é de 2mm por número.

- *Ponto C*

O ponto C, ou Ponto de Costado, é marcado na região mais proeminente da lateral da Forma, ou seja, na parte mais larga da planta da Forma, equivalente a região metatarsofalangeana do quinto dedo. O Ponto C é transferido e marcado na região interna da Forma (medial) com uma linha perpendicular ao eixo da palmilha, traçada a partir do Ponto C da região lateral.

- *Ponto D*

O ponto D, ou Ponto da boca da gáspea, é marcado no ponto central da linha formada pela união dos pontos A e C. Para alguns modelos, segundo o autor (Schmidt, 2007), o ponto D da região medial pode ser marcado acima da posição do ponto D na região lateral da Forma.

- *Ponto E*

O ponto E, ou Ponto auxiliar, é marcado a partir do Ponto B paralelamente à linha AC.

- *Ponto F*

O Ponto F, ou Ponto da altura do calcanhar, é marcado sobre a linha do meio do calcanhar e é medido a partir do ponto do meio do calcanhar com a distância definida a partir do número da Forma em pontos franceses. Portanto, para determinar a distância do Ponto F é necessário somar 20mm, para calçados masculinos, ou 18mm, para calçados femininos, ao número da Forma em pontos franceses (ex.: $35 + 20 = 55\text{mm}$). O autor

(Schmidt, 2007) alerta que, para calçados com a palmilha interna espessa, a espessura da palmilha interna deve ser compensada na distância do ponto F em relação ao ponto do meio do calcanhar. Outra observação feita pelo autor é que em alguns modelos o Ponto F pode ser deslocado para cima, de acordo com a estética pretendida.

- *Ponto G*

O Ponto G, ou ponto do comprimento do salto é marcado sobre o eixo da palmilha na direção calcanhar - bico. Para encontrar o Ponto G é necessário saber a altura do salto. Caso a altura do salto não esteja disponível é preciso posicionar a Forma com a altura de salto e elevação do bico adequados (o autor apresenta uma tabela com valores indicativos para valores de elevação do bico em relação a altura do salto). A partir da altura do salto é possível posicionar o ponto G sobre a linha do eixo da palmilha. A distância do ponto G do ponto do meio do calcanhar é equivalente a $\frac{1}{4}$ (um quarto) do Comprimento Real da Forma para calçados com salto de 40mm. Para calçados com salto inferior a 40mm a distância do ponto G deve ser acrescida em até 8mm. Para calçados com salto superior a 40mm a distância do Ponto G deve ser descontada em até 8mm. O autor (Schmidt, 2007) apresenta uma tabela com os valores a serem somados ou subtraídos a $\frac{1}{4}$ (um quarto) do CR em relação à altura do salto.

O ponto marcado sobre o eixo da palmilha é transferido para as bordas da palmilha a partir de uma linha perpendicular ao eixo da palmilha.

- *Ponto H*

O Ponto H, ou Ponto do topo da Forma, corresponde ao ponto do meio da chave na região anterior, utilizado para traçar a linha do meio da gáspea.

- *Ponto I*

O Ponto I, ou Ponto do meio do bico, corresponde ao ponto utilizado para traçar a linha do meio da gáspea.

- *Ponto J*

O Ponto J, ou Ponto da altura da lateral, é marcado na intersecção das linhas DF e BL. O autor (Schmidt, 2007) afirma que este ponto é de suma importância para garantir o

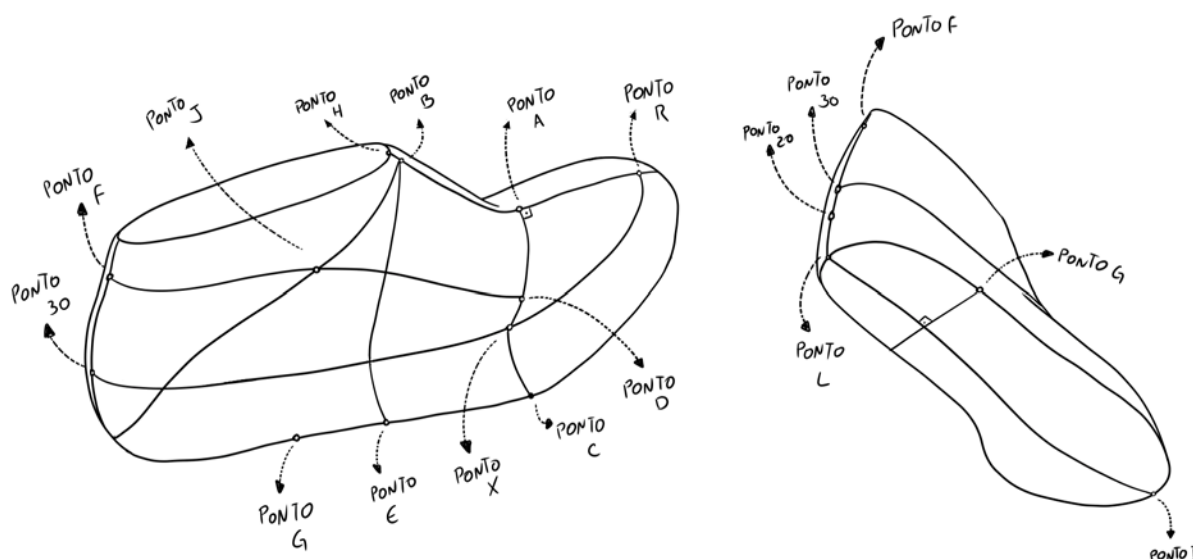
conforto do calçado da região do tornozelo, pois está localizado entre 5mm e 10mm sob os maléolos.

- *Ponto L*

O Ponto L, ou Ponto do meio do calcanhar, corresponde ao ponto utilizado para traçar a linha do meio do calcanhar.

A figura 35 mostra a representação de uma forma com as marcações das linhas e pontos básicos para a modelagem do calçado.

Figura 35: Linhas básicas de modelagem



Elaborado pelo autor. Fonte: Adaptado de Schmidt, 2007.

O autor (Schmidt, 2007) apresenta alguns modelos, suas características e técnicas para modelagem e planificação. Os modelos apresentados são o Inglês masculino, Decotado Feminino, Mocassim, Bota e Tênis, cada um com suas especificidades de modelagem. Quanto ao tênis, o autor afirma que este estilo de calçado é um dos mais populares e está diretamente ligado a tecnologia, design e inovação. A etapa de modelagem do tênis, segundo Schmidt (2007) deve se adequar ao sistema de construção, que por sua vez está ligado a finalidade para a qual o calçado é produzido. As montagens de cabedal citadas são: montagem com palmilha (segundo o autor proporciona maior estabilidade e firmeza a estrutura); o sistema de montagem costurado em overlock; o Sistema de montagem tubular;

e os Sistemas mistos. Quanto ao solado, o autor (Schmidt, 2007) afirma que a diversidade está entre o tipo de fixação e o material do solado. Dentre os tipos de fixação, o autor cita a colagem; a vulcanização; e a injeção direta. Dentre os materiais disponíveis o autor cita borrachas naturais e sintéticas; e materiais poliméricos.

Análise Sincrônica

A Análise Sincrônica consiste em analisar os produtos similares e concorrentes. No âmbito desta pesquisa, buscou-se referências de calçados modulares e calçados que contêm componentes (ou são totalmente) fabricados pela tecnologia de impressão 3D. Neste tópico também são apresentadas as principais matérias primas utilizadas pela indústria calçadista e os impactos ambientais causados por ela, bem como o conceito de manufatura aditiva e as diferentes técnicas de impressão 3D.

Modularidade

Para definir o conceito de modularidade em sua dissertação, o autor Körbes (2015, p. 87) apoiou-se em conceitos de diferentes autores. Ao citar Eager *et al*; o autor conceitua o design modular como um sistema que se utiliza de distintos módulos capazes de interação, através de conexões, para formar uma variedade de um mesmo produto, permitindo troca, substituição ou melhora dos componentes. Citando Miller e Elgard, o autor (Körbes, 2015. p. 89) define um módulo como uma unidade do produto ao qual faz parte, que possui interações e interfaces padronizadas que possibilitam diferentes combinações com outro módulo(s).

Körbes também classifica os 6 (seis) tipos de modularidade de acordo com o arranjo do sistema modular: Modularidade por compartilhamento de componentes; por permuta de componentes; por ajuste de componentes; por *Mix*; por *Bus*; e Modularidade seccional.

A Modularidade por compartilhamento de componentes refere-se a produtos que possuem um componente que se repete em diferentes produtos.

A Modularidade por permuta de componentes complementa a Modularidade por compartilhamento de componentes, nela o produto formado por diferentes produtos possui tantas combinações quanto os elementos permutáveis permitirem. É possível identificar o componente que demanda maior personalização e permitir uma fácil integração deste no produto final.

A modularidade por ajuste de componentes é similar às modalidades por compartilhamento e permuta de componentes. Neste tipo de modularidade um ou dois componentes são sempre passíveis de alteração de acordo com a limitação prática ou preestabelecida.

Na Modularidade por *Mix* são empregados os conceitos das Modularidades por compartilhamento, permuta e ajuste de componentes. Este tipo de modularidade faz com que os componentes se misturem de forma que não sejam mais percebidos no produto final.

A Modularidade por *Bus* refere-se a produtos que possuem uma estrutura, ou plataforma-base, capaz de receber um número de diferentes tipos de componentes, permitindo variações em número e tipo dos módulos e os locais onde esses módulos podem se encaixar.

A Modularidade seccional permite que diferentes produtos sejam formados pela conexão entre componentes através de interfaces padronizadas, as interfaces devem ser desenvolvidas de maneira que possibilitem a conexão de seções ou diferentes tipos de objetos. O autor (Körbes, 2015) afirma que este último tipo de modularidade é a mais robusta, porém é também a mais difícil de ser desenvolvida e cita como exemplo o brinquedo mundialmente conhecido “Lego”.

- Exemplos de calçados modulares

Vans

O calçado da marca Vans, modelo *Dots Old Skool Tapered Mesh DX Modular*, mostrado na figura 36, é um calçado tradicional da marca que possui um segundo solado externo removível que se encaixa na maioria dos outros modelos da marca. O segundo solado é feito de borracha. (Vans, 2023)

Figura 36: Calçado Vans *Dots Old Skool Tapered Mesh DX Modular*



Elaborado pelo autor. Fonte: Vans, 2023

O autor identifica a modularidade desse produto como sendo de Compartilhamento, este tipo se caracteriza por possuir um componente que se repete em diferentes produtos.

Think

O calçado Think, exibido na figura 37, criado pelo designer Ben Chappell é um protótipo de calçado modular composto de 5 partes, que utiliza apenas travas mecânicas para a montagem. O cabedal é feito de tecido e as outras partes são poliméricas: solado, palmilha e as duas partes da trava do calcanhar. Para montagem basta inserir a palmilha dentro do cabedal, posicioná-los sobre o solado, encaixar e travar a parte traseira nos três diferentes pontos, nas laterais e na parte extrema traseira. (EXAME, 2012; LONG TRAN, 2007)

Figura 37: Calçado Think

How it works



Fonte: LONG TRAN, 2007.

A modularidade deste modelo foi identificada pelo autor, dentre as descritas por Körbes (2015), como de Modularidade de Permuta, onde o produto é formado por diferentes componentes e possui quantas variações estes componentes permitirem. No caso do calçado Think, a principal variação se dá nas cores no cabedal e na trava do calcanhar.

Urshuz

O calçado mostrado na figura 38, Urshuz, segundo o autor do site WearTested (2011), é um calçado modular com apenas dois componentes: cabedal e solado. O cabedal é feito de couro ou textil e possui abas móveis em forma de “U” ao longo da base. O solado é feito de TPR injetado totalmente reciclável e se divide em duas partes: há uma palmilha removível que revela uma pequena ferramenta para auxiliar na montagem do calçado. Para montagem, as abas do cabedal devem envolver os relevos na lateral e base do solado. O solado possui uma altura máxima de 19mm com *drop* de 4mm e possui uma mensagem em relevo na palmilha que indica que os solados usados podem ser transformados em novos.

Figura 38: Calçado Urshuz



Fonte: WEAR TESTED, 2011

Os cabedais variam de estilo, podendo ser sandálias, mocassins e outros, enquanto o solado pode variar apenas na cor. O autor indica que tentou montar os calçados antes de descobrir que havia uma ferramenta para isso, o que fez doer seus dedos e aumentou o tempo de montagem de 5 minutos para 10 minutos. Este tipo de modularidade pode ser considerado Modularidade por *Bus* (Körbes, 2015), onde há uma base em que se pode encaixar diferentes componentes de diferentes formas.

Muvez

O calçado Muvez, apresentado na figura 39, é um calçado estilo sapatilha (*slip-in*) com um segundo solado facilmente removível, basta segurar o solado na região do calcanhar e elevar o calcanhar do pé, fazendo com que a sapatilha solte do solado; para colocar a sola novamente basta deslizar a sapatilha, posicionando os dedos sob a região do solado que cobre os dedos e pisar com o calcanhar para encaixar. O sistema faz com que a parte “suja” do calçado, que fica em contato com o chão, possa ser facilmente destacado para que o usuário não necessite retirar completamente o calçado ao entrar em um ambiente interno.

Figura 39: Calçado Muvez



Fonte: Muvez, 2023

O cabedal é feito em *knit* e o solado externo é feito de espuma/borracha. Este modelo foi classificado quanto à modularidade como possuidor da Modularidade do tipo Ajuste de Componentes (Korbes, 2015), onde um ou mais componentes são sempre passíveis de alteração dentro da delimitação.

Lyf 3D printed shoes

O calçado Lyf 3D, mostrado no figura 40, é um protótipo de calçado modular com alguns componentes impressos em 3D: a sola, a trava do calcanhar, o platô de performance alma e a base do cabedal; O cabedal é feito de tecido reutilizado e a palmilha é feita de cortiça. Há também uma placa eletrônica com sensores, localizada na trava do calcanhar, que captam dados que podem contribuir para a otimização de um modelo posterior para o mesmo usuário. O Platô de performance possui pequenas abas nas laterais que une o cabedal ao solado e a trava do calcanhar é inserida pelos furos na lateral da parte traseira. A palmilha é colocada dentro do calçado, acima do platô de performance. (LYF... 2012; LYF... 2013; MICHAEL MOLITCH-HOU, 2014; LYF... 2015; A NEW... 2015; LYF... 2014.)

Figura 40: Calçado Lyf 3D



Elaborado pelo autor. Fonte: adaptado de MICHAEL MOLITCH-HOU, 2014

Dentre os seis tipos de modularidade descritos por Körbes (2015), o autor identificou o calçado LYF 3D como sendo do tipo “Modularidade por Permuta”, caracterizada por possuir diversas partes que podem ser alteradas separadamente, permitindo quantas combinações o sistema permitir. No caso do Calçado LYF 3D, as principais variações se dão no solado, podendo mudar de cor ao utilizar um filamento colorido, e o cabedal, que depende do tecido utilizado na confecção, podendo, portanto, variar em material e cores.

Zvezdochka Sneaker

O tênis Zvezdochka da Nike, presente na figura 41, desenvolvido pelo designer Marc Newson (2004), é um calçado modular composto de 4 partes: a armação externa, a sola de interligação, o cabedal e a palmilha. A armação externa e a sola de interligação são feitas de TPU (*Thermoplastic Polyurethane*), o cabedal é têxtil e a palmilha possui uma unidade “Nike Zoom Air” para conforto. A sola de interligação é inserida na armação externa, encaixando seus relevos nos furos da base da armação; O cabedal é inserido dentro da armação externa

por cima da sola de interligação e a palmilha é colocada dentro do cabedal para montagem do calçado.

Figura 41: Calçado Nike Zvezdochka by Marc Newson



Fonte(NEWSON, 2004)

O calçado Nike Zvezdochka foi classificado com uma Modularidade do tipo Permuta e Componentes (Körbes, 2015), onde as diferentes partes do produto são cambiáveis.

Bruno Truong

O calçado protótipo do designer Bruno Truong, segundo o site DesignBoom (2015), é produzido parcialmente com impressão 3D: o solado, e os suportes do cabedal nas laterais, bico e calcanhar. O cabedal é feito de tecido e é preso ao solado por um cadarço de tecido com um dispositivo que une as pontas. O solado contém células fechadas para tornar o componente mais comprimível nas áreas de maior pressão plantar.

Figura 42: Calçado de Bruno Truong



Fonte: (DESIGNBOOM, 2015)

Apesar de tratar-se de um protótipo, o calçado desenvolvido por Truong pode ser considerado como Modular por Permuta de Componentes (Körbes, 2015), onde as diferentes partes podem ser combinadas, formando quantas combinações o sistema permitir.

Nike ISPA Link

O calçado da linha *ISPA (Improvise. Scavenge. Protect. Adapt.)* da Nike chamado “Link” é um calçado modular composto de 3 partes: o solado, o cabedal e o cadarço. O solado possui saliências da base até as laterais, que se encaixam dentro dos furos no cabedal de *knit*, e uma entressola embutida para conforto. O cabedal de cano alto possui abas para segurar o cadarço. (É ASSIM... 2022; NIKE, 2023.)

Figura 43: Calçado Nike ISPA Link



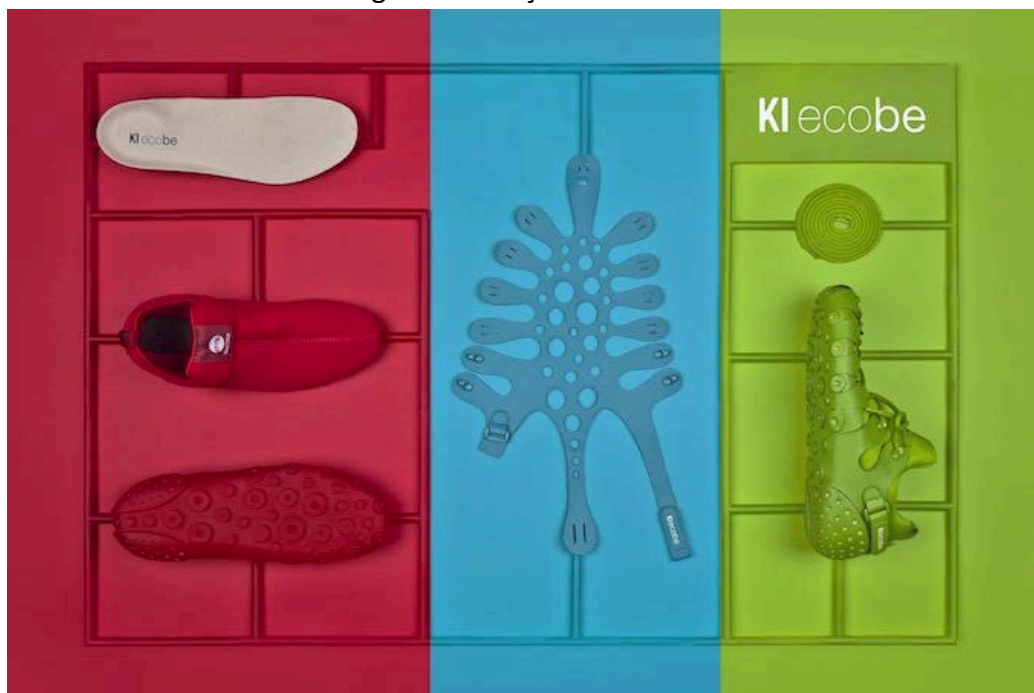
Fonte: NIKE, 2023.

O calçado Nike *ISPA Link* foi classificado pelo autor, segundo os tipos de modularidade expostos por Körbes (2015), como possuindo a modularidade do tipo “*Mix*”; onde os componentes são combinados de forma que perdem a distinção entre si.

KI ecobe customizable shoes

O calçado KI ecobe é um modelo modular customizável de auto montagem com mais de dez mil combinações entre as 5 diferentes partes: a presilha KI, solado, o cabedal, a palmilha e o cadarço. Para montar o calçado o usuário deve encaixar as saliências da base do solado nos furos da presilha KI, prender a aba frontal da presilha no bico do solado e unir as abas que formam a presilha na parte traseira. O cadarço deve ser passado entre os furos nas abas da presilha KI, para então inserir o cabedal com a palmilha dentro da estrutura formada pelo solado, presilha KI e cadarço. Os materiais não são especificados na página de arrecadação de recursos do projeto, mas alega-se que são usados materiais recicláveis. (KICKSTARTER, 2018)

Figura 44: Calçado KI ecobe



Fonte: (KICKSTARTER, 2018)

O calçado KI ecobe foi classificado pelo autor deste PCC, quanto aos tipos de modularidade descritos por Körbes (2015), como sendo Modularidade por permuta de componentes.

Repair it yourself by Eugenia Morpurgo

O calçado protótipo desenvolvido pela designer Eugenia Morpurgo (2011) é um calçado modular composto por 4 partes: sola, cabedal, palmilha e cadarço. A sola e a palmilha são feitas de material polimérico flexível enquanto o cabedal e o cadarço são têxteis. Para montagem basta encaixar as saliências da palmilha nos furos da base do cabedal e da sola e prender os cadarços nos atacadores do cabedal. A autora indica que os calçados vêm com um kit de reparos especial para eles.

Figura 45: Calçado *Repair it Yourself* by Eugenia Morpurgo

Fonte: MORPURGO, 2011.

Quanto a modularidade, o calçado *Repair It Yourself* (MORPURGO, 2011) foi classificado, dentre os tipos de modularidade expostos por Körbes (2015), como sendo do tipo “Ajuste de Componentes”. Nesta classificação, os produtos possuem um ou dois componentes que são sempre alteráveis, no caso, o cabedal e o cadarço.

Up-part by lucile nguyen

O calçado UP-PART, desenvolvido pela designer Lucile Nguyen (2023), é um calçado modular composto de seis partes: a sola, o cabedal, a lingueta, a aba traseira, a estrutura dos atacadores e os cadarços ou tiras, vale adicionar também os pequenos atacadores usados para unir as partes de tecido no cabedal. Para montar o basta escolher o cabedal desejado, unir as partes com os pequenos atacadores, posicionar o cabedal montado sobre o solado com a estrutura dos atacadores entre o solado e cabedal e prender as tiras ou cadarços nos pinos da lateral da sola. Além da variação de cores e do tipo de atacador (tira ou cadarço), o usuário pode escolher entre três diferentes modelos de cabedal: fechado, cano alto ou aberto (sem a parte do calcanhar).

Figura 46: Calçado UP-part



Fonte: NGUYEN, 2023

Este calçado é classificado pelo autor, quanto aos seis tipos de modularidade descritos por Körbes (2015), como sendo do tipo “Modularidade por *Bus*”, onde uma plataforma base tem a capacidade de receber diferentes componentes em diferentes quantidades. No caso do UP-PART (Nguyen, 2023) a plataforma base refere-se ao solado que pode receber diferentes tipos de cabedais e sistemas de ajuste ao dorso do pé.

Modular shoe by Alexander Reed

O calçado modular desenvolvido pelo designer Alexander Reed ([2017]) é composto de 5 partes: o solado, o cabedal, a palmilha e as cordas para o cadarço e união das partes. O solado e a palmilha são impressos em TPU e possuem olhais alinhados por onde passa a corda que une as partes. Os olhais da palmilha são colocados dentro de furos ao longo da base do cabedal têxtil que possui atacadores na parte superior para prender o cadarço. O autor apresenta muitos detalhes do processo e também protótipos prévios em sua postagem no blog Instructables.

Figura 47: Calçado Modular de Alexander Reed



Fonte: (REED, [2017])

Este calçado, desenvolvido por Alex Reed ([2017]), mesmo tratando-se de um protótipo, foi identificado como possuindo o tipo de modularidade denominado “Modularidade por Permuta de Componentes”. Este tipo de Modularidade, definido por Körbes (2015), diz respeito a produtos que possuem componentes alteráveis, alterando o produto com quantas variações o sistema modular permitir.

Mine 3d printed shoes

Mine, segundo a autora Elena Gerber (2012), em seu portfólio no Behance, é uma plataforma de customização de calçados impressos em 3D, a customização é feita na variação de cores e na ergonomia, baseada no escaneamento dos pés do usuário. O modelo “Paws” possui quatro partes removíveis: o cabedal, a estrutura externa, a entressola e os apoios de gel que são uma série de componentes que formam a sola. Para montagem basta encaixar os apoios de gel nos furos da entressola, posicionar ambos dentro da estrutura externa e inserir o cabedal na estrutura externa sobre a entressola e os apoios em gel. Os demais modelos da plataforma (Air Structure e ClassiFix) são compostos por peças únicas com variação de cores, padrões e grafismos.

Figura 48: Calçado Mine Paws



Fonte: (GERBER, 2012)

O tipo de modularidade do calçado “Mine” (Gerber, 2012) foi classificado pelo autor deste PCC, de acordo com as descrições de Körbes (2015), como “Modularidade por Permuta de Componentes”. Este tipo de modularidade caracteriza-se por permitir ao produto um número de combinações tão numerosas quanto o sistema permitir. Neste caso específico, os componentes podem variar de cor, basicamente.

Shooz modular shoes

Shooz é uma marca italiana de calçados modulares com variações de solado e cabedal. Segundo a página de arrecadação de recursos do projeto, os cabedais são têxteis e possuem um sistema de zíper à prova de água que une o cabedal ao solado. Para montar basta escolher o solado e o cabedal desejado, unir e fechar o zíper e por fim prender o botão do cabedal na região do topo do calcanhar do solado. O material do solado varia entre têxteis sintéticos, naturais e couros. (KICKSTARTER, 2017)

Figura 49: Calçado modular Shooz



Fonte: (KICKSTARTER, 2017)

Este Produto foi classificado como possuidor da “Modularidade por *Mix*” (Körbes, 2015), em que as diferentes partes do mesmo são variáveis, mas não são percebidas no resultado final.

Conceito de Luis Augusto K. Bugin

O conceito desenvolvido pelo designer Luis Augusto para o seu trabalho de conclusão de curso do curso de Design da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2016 foi desenvolvido para a prática de skate com o objetivo de facilitar a desmontagem e a reciclagem do calçado após deterioração pelo uso no esporte e portanto, possui apenas seis componentes no total. O calçado é composto por um solado de SOFPUR (TPU) que é costurado por blaque com uma linha de poliamida e recobre parcialmente o cabedal nas laterais; um exoesqueleto feito de BioTPU, projetado para encaixar perfeitamente dentro do solado, exercer funções estruturais e possui os

atacadores; A parte mais interna do cabedal é descrita como uma meia de tricô de poliamida; o calçado conta com uma palmilha removível de Poliuretano de Alta Densidade (PUAD) com desenho anatômico e um cadarço para ajuste feito de poliamida. A costura blaqueada une o solado ao exoesqueleto e a meia de tricô e está localizada o mais próximo possível da extremidade superior do solado. (BUGIN, 2016)

Figura 50: Calçado conceito de Luis Augusto K. Bugin



Elaborado pelo autor. Fonte: adaptado de BUGIN, 2016.

Apesar de conceitual, o tipo de modularidade identificada pelo autor do presente PCC no calçado desenvolvido por Luís Augusto Bugin (2016), é o tipo: Ajuste de Componentes. Este tipo de modularidade, descrito por Körbes (2015), refere-se a produtos com um ou dois componentes passíveis de alteração, neste caso a alteração se dá principalmente no solado.

Matéria prima

Na indústria tradicional são transformados, para a confecção dos componentes, insumos naturais, sintéticos, têxteis, couros e peles. Cada componente do calçado cumpre uma função específica e, portanto, requer a utilização de materiais específicos.

Kohan (2021) analisou os principais materiais usados na fabricação de calçados e suas diferentes partes. O solado é responsável por absorver o impacto, mesmo quando

parado, exercido pela gravidade em relação à massa corporal do indivíduo, também é responsável pela distribuição plantar. Durante uma caminhada o solado sofre seguidas compressões alternadas pelo ciclo da marcha, isto faz com que os materiais escolhidos para este componente possuam alto módulo elástico, retornando ao formato original após deformados por compressão. O Cabedal é responsável pelo ajuste do calçado ao formato do pé e pela transpiração, por isso são utilizados materiais maleáveis e com capacidade de transpiração, absorção e dessorção (Kohan, 2021).

Um dos materiais historicamente mais utilizados, mas que vem perdendo mercado desde o início do século XXI, é o couro bovino, que pode compor diferentes partes do calçado, devido a suas propriedades estéticas e físicas, como durabilidade, flexibilidade, maleabilidade e permeabilidade. Apesar dessas propriedades do couro tornarem-no uma boa opção para a fabricação dos componentes do calçado, a utilização deste material tem sido reduzida com o passar dos anos, devido ao custo elevado e aos processos de curtimento potencialmente danosos ao meio ambiente. Os materiais têxteis são aplicados de diferentes formas e, majoritariamente, compõem os cabedais. São materiais constituídos a partir de fios, fibras ou filamentos (naturais ou químicos) nas formas de flocos, fios-cabos, tecidos e não tecidos (Kohan, 2021).

Os têxteis naturais têm origem de fibras vegetais, animais ou minerais; os têxteis químicos são obtidos a partir de fibras artificiais e sintéticas. Cada tipo de fibra possui características específicas quanto às dimensões, propriedades mecânicas, térmicas, químicas e de absorção que conferem diferentes características aos tecidos fabricados a partir delas. É possível que fibras naturais e sintéticas sejam misturadas tanto na fase de composição do fio quanto no entrelaçamento. A “padronagem têxtil” define a estrutura do tecido através da disposição das fibras, diferentes entrelaçamentos, tecnologias e maquinários conferem diferentes atributos aos tecidos fabricados a partir de fibras. O Tecido não tecido (TNT) é uma estrutura formada a partir da união de camadas de fibras ou filamentos majoritariamente feitos de poliéster, polipropileno, viscose ou misturas, por via mecânica, química e/ou térmica, que também se enquadra como têxtil. A autora caracteriza o material como plano, flexível e poroso e indica que as principais aplicações são em biqueiras, contrafortes, palmilhas, forros e outras partes com finalidade estrutural e estética (Kohan, 2021).

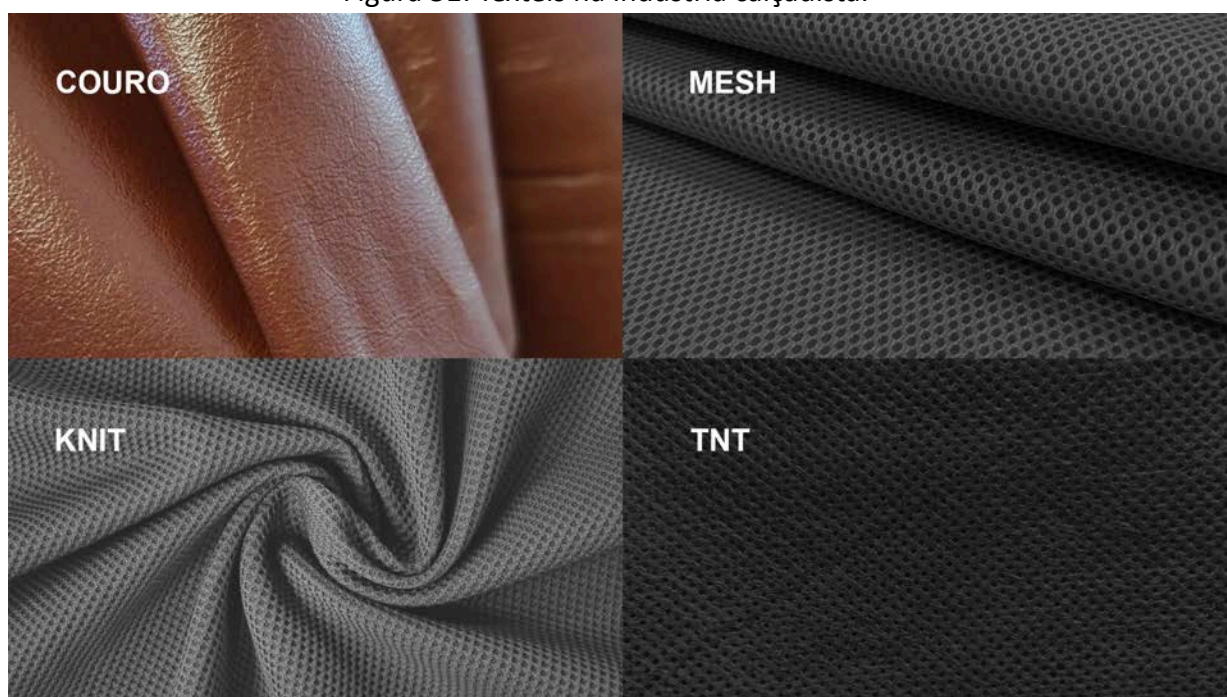
As duas principais tecnologias empregadas para a estruturação dos não tecidos são o entrelaçamento por jato de água (*spunlace*) e o entrelaçamento agulhado, o primeiro é mais uniforme e resistente que o segundo, que devido ao seu processo de fabricação através de agulhas pode conter furos e uma grande quantidade de fibras soltas na superfície. O tecido plano é um entrelaçado de filamentos através de teares em estrutura “denim” ou “lona”, em calçados os filamentos mais comumente utilizados são feitos de fibras de algodão, esse tipo de tecido é utilizado por sua resistência e suavidade ao toque, também possui alta capacidade de permeabilidade e absorção, esta última pode ser um fator determinante para a não utilização do tecido de algodão em tipos específicos de calçados, devido ao peso adquirido quando molhado e relativa demora para secagem. As estruturas em passamanaria são caracterizadas pelo perfil estreito ou de cordão, sua função pode ser estética, como a aplicação de adornos no cabedal ou recobrando o salto lateralmente, ou de ajuste, como em fechos, fitas ou cadarços. (Kohan, 2021).

A autora cita como fibras naturais os trançados de juta ou sisal; e como fibra sintética são apontados como principais os formados a partir de poliéster ou poliamida, caracterizados por possuir uma grande variedade de cores disponíveis. Os têxteis do tipo malha, quanto à utilização na produção de calçados, tradicionalmente são subdivididos em duas estruturas principais de malharia: circular e de urdume. A malharia circular possui diversas variações quanto às especificações dos maquinários, variações na quantidade, posicionamento e alinhamento das agulhas produzem malhas com diferentes características dimensionais e podem constituir-se de uma ou duas camadas. A autora afirma que é comum a utilização desse tipo de malharia, em forros de calçados que não possuem aplicações esportivas, com tecidos mais elásticos no sentido horizontal e podendo apresentar diferentes desenhos e variações de gramatura e até qualidade (Kohan, 2021).

A autora exemplifica alguns tecidos comuns fabricados em malharia circular como a meia malha e a malha dupla; interlock e ribana; e também os tecidos com diferentes desenhos em tamanhos e cores variadas. A malharia de urdume consiste em duas camadas de monofilamentos conectadas por um fio monofilamentado, normalmente de poliéster ou uma mistura com poliamida. A estrutura do tecido confere-lhe boas características para compor diversas partes do calçado; isolamento térmico, porosidade, permeabilidade, resistência elástica e suavidade ao toque. A utilização desses fios sintéticos faz com que o tecido possua baixa capacidade de absorção e conseqüentemente a secagem é rápida,

contudo, a estrutura com áreas vazadas permite a circulação de ar. A autora ressalta que os maquinários são caros e necessitam de uma preparação específica devido a quantidade de carretéis usados. A tecnologia chamada de malharia plana é a inovação do setor calçadista, segundo Kohan (2021) foi introduzida no mercado em 2015. Esta tecnologia permite que as máquinas tecam cabedais prontos, eliminando muitos processos da cadeia produtiva, apesar da relativa baixa produtividade. É apontado como ponto negativo a instabilidade estrutural e dimensional do tecido em malharia plana, fazendo com que seu uso não seja indicado para calçados esportivos. Os polímeros sintéticos são utilizados de duas formas na produção de calçados, os chamados laminados sintéticos são muitas vezes empregados como substitutos aos têxteis e ao couro, reproduzindo sua aparência e textura, possuem variedade de cores, composições, textura e preços; os termoplásticos e termofixos são amplamente utilizados na composição dos calçados, nos cabedais podem cumprir funções estruturais, como em biqueiras, e funções estéticas, como adornos ou fivelas. Em solados seu uso também é amplo, podendo constituir total ou parcialmente a parte inferior do calçado ao ser injetado ou expandido em moldes fechados que após preenchidos resultam em peças que necessitam de pouco acabamento. A figura 51 mostra alguns dos principais têxteis utilizados na indústria calçadista: Couro, *Mesh*, *Knit* e TNT.

Figura 51: Têxteis na indústria calçadista.

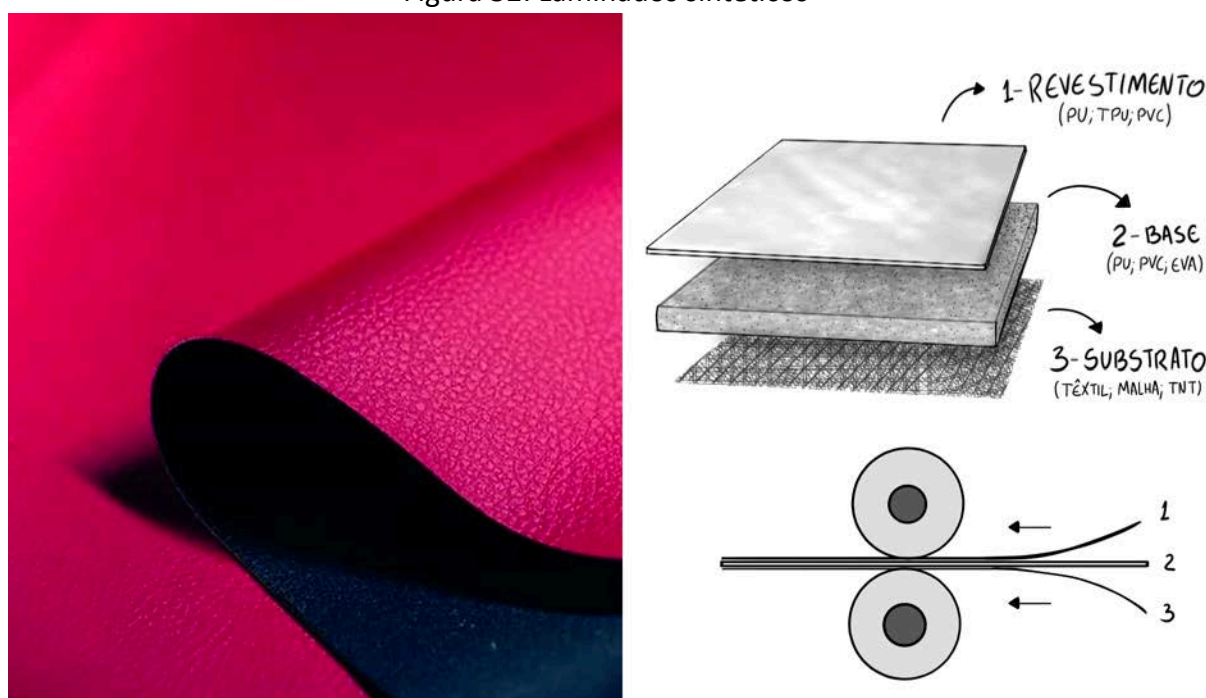


Elaborado pelo autor. Fontes: (SCULP LEATHER STORE, 2023; JLM TECIDOS, 2023; SAGROL TECIDOS, 2023; GRUPO BELL;ARTE, 2023.)

Os principais laminados sintéticos são de PVC, PU, TPU ou microfibras sintéticas, compostos por duas ou três camadas, sendo que a parte interna é formada por tecidos ou não tecidos; espumas, fibras ou microfibras de poliéster, enquanto que a parte externa é concebida em processo seco ou líquido, dependendo do material e do acabamento desejado. O processo seco refere-se à adesão de uma fina camada de material, como filmes de PU ou TPU, através de um agente termocolante que adere à camada base por pressão e calor; o processo líquido refere-se à transferência por contato de uma resina líquida, de PVC ou PU, que quando curada torna-se sólida e adere ao material base. O PU pode ser produzido em diversas espessuras e superfícies, conferindo ao material resistência, maciez, elasticidade e permeabilidade variadas; o PVC possui um baixo custo e amplas possibilidades de acabamento, porém apresenta rigidez ao toque e baixa permeabilidade; o TPU é flexível e também possui amplas possibilidades de acabamento em cor e textura; a microfibras sintética é formada por microfibras de poliéster, com uma superfície escovada, semelhante à camurça de couro, que pode ser submetida a acabamentos diversificados. A NBR 13889 (ABNT, 2020) define os termos utilizados para os laminados sintéticos no setor de calçados e afins, nela são apresentados, em ordem alfabética, dezoito termos e definições sobre o material, com destaque para o oitavo item, onde são apresentadas cinco figuras com esquemas sobre as configurações dos diferentes tipos de laminados sintéticos, de acordo com os componentes utilizados para substrato, base e acabamento. A norma define laminados sintéticos como “materiais poliméricos apresentados na forma de lâminas, podendo o polímero estar ou não aplicado”. A definição de substrato feita pela norma é de um reforço ou suporte composto por materiais têxteis tecidos ou não tecidos, papel ou malha. “Camada sintética” é como a norma define tudo o que está sobre o substrato - base, filme de revestimento e acabamento. A base é definida como uma camada intermediária ou superficial sobre o substrato que pode ser expandida ou compacta, composta de materiais sintéticos como PU, PVC ou EVA. O filme de revestimento é definido apenas como a camada sobre a base. O acabamento é explicado como tudo o que está sobreposto ao filme de revestimento ou que o possa modificar, os exemplos são estampa, película, tratamento superior entre outros. O termo “adesivo” é definido como material complementar para união entre as camadas. No item em destaque, com as figuras, são apresentadas cinco composições genéricas empregadas em laminados sintéticos: Substrato tipo tecido;

Substrato tipo malha; Substrato tipo não tecido; Laminados sintéticos em PU; e Laminados sintéticos em EVA. Os demais itens da norma definem os processos utilizados para a laminação dos polímeros e técnicas de acabamento superficial; apresentam as definições dos componentes - como exemplo papel, malha e até trama e urdume. A figura 52 apresenta um laminado sintético e ilustrações esquemáticas sobre a estrutura destes materiais, conforme apresentado pela ABNT (2020).

Figura 52: Laminados sintéticos



Elaborado pelo autor. Fonte: ABNT, 2020; REVISTA TECNICOURO, 2022)

Os principais termoplásticos utilizados na produção de calçados são o PVC, o EVA, o TR e o TPU, outros exemplos são: ABS, TPE, PA, PC, PE e PP⁴. Estes polímeros são fundidos e injetados em formas para secarem, obtendo o formato desejado. Diferentemente dos termofixos, os termoplásticos podem ser refundidos e portanto reutilizados, enquanto naqueles, uma vez curadas (secas) a ligação entre as moléculas não pode ser revertida. Como exemplo para os termofixos a autora cita exclusivamente o poliuretano expandido, que pode ser expandido em diferentes densidades de forma livre ou dentro de um molde. A espuma de PU é caracterizada por ser leve e confortável; o PVC é caracterizado por possuir boa adesão, isolamento e possibilidade de reciclagem; O EVA caracteriza-se por sua leveza e

⁴ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno; TPE - Elastômero Termoplástico; TPR - *Thermoplastic Rubber* - Borracha Termoplástica; PA - Poliamida; PC - Policarbonato; PP - Polipropileno; PE - Polietileno.

facilidade de pigmentação; O TR é flexível e reciclável; O TPU é resistente ao rasgo e reciclável. Outros materiais comuns citados brevemente são os elastômeros NR (borracha natural) e *NBR*⁵ (borracha nitrílica). O NR é o látex natural e é caracterizado por ser flexível, enquanto o *NBR*, que é o látex sintético, caracteriza-se por sua resistência ao rasgo e à abrasão.

As normas NBR 14557 (ABNT, 2012) e 13892 (ABNT, 2010) estabelecem as terminologias empregadas no setor produtor e consumidor calçadista. Em nota sobre “componentes plásticos” a ABNT explica que os plásticos são materiais artificiais, geralmente de origem orgânica, que durante a sua produção adquirem propriedades plásticas, podendo ser moldados a partir de calor e pressão. Nos dois itens seguintes são descritos os materiais “termofixos” e “termoplásticos”; os termofixos requerem calor e pressão para a sua moldagem: durante o aquecimento, inicialmente, o material amolece, torna-se maleável e com a continuidade do aquecimento o material é transformado quimicamente, endurecendo e não é capaz de recuperar suas propriedades plásticas novamente, sendo passível de reciclagem. Os termoplásticos também amolecem com a aplicação de calor e pressão, porém, necessitam de resfriamento para tornarem-se rígidos e podem recuperar suas propriedades plásticas quando aquecidos novamente, devido ao fato de não haver reação química.

O ABS é um copolímero termoplástico obtido a partir da copolimerização de acrilonitrila, butadieno e estireno, descrito como resistente, brilhante e, geralmente, amarelado. O EVA é um copolímero poli (etileno-co acetato de vinila). O PVC é descrito como um termoplástico obtido a partir dos gases cloro e acetileno. O PA é um polímero sintético termoplástico, a exemplo do náilon. O PC é descrito como um polímero termoplástico translúcido obtido a partir da condensação de compostos de bisfenol A com fosgênio.

O PS é uma resina termoplástica adquirida a partir da polimerização do estireno e pode ser de alto impacto (PSAI). O PE é um termoplástico de superfície cerosa, obtido a partir da polimerização do etileno, pode apresentar baixa (PEBD) ou alta (PEAD) densidades, sendo o primeiro mais mole e flexível e o segundo mais rígido e duro. O PP é um termoplástico obtido a partir da polimerização do propeno ou polipropileno. O PU é um polímero produzido a partir da reação de um di isocianato com um diol ou polidiol. O TPU

⁵ O recurso itálico foi empregado para diferenciar da sigla referente a Norma Brasileira (NBR).

refere-se ao poliuretano termoplástico. O TR refere-se ao elastômero (material macromolecular capaz de recuperar total ou parcialmente o formato original após ter sido deformado por força externa a temperatura ambiente) termoplástico. O *NBR* refere-se ao copolímero poli (butadieno-acrilonitrila). O NR refere-se à borracha natural de constituição a base de poli isopreno e é obtido a partir da coagulação do látex. O TPE ou elastômero termoplástico, segundo o site Compostos (2020) é um material polimérico reciclável que combina propriedades da borracha e do plástico.

Figura 53: Termoplásticos.



Fonte: COMPOSTOS, 2024.

Impacto ambiental

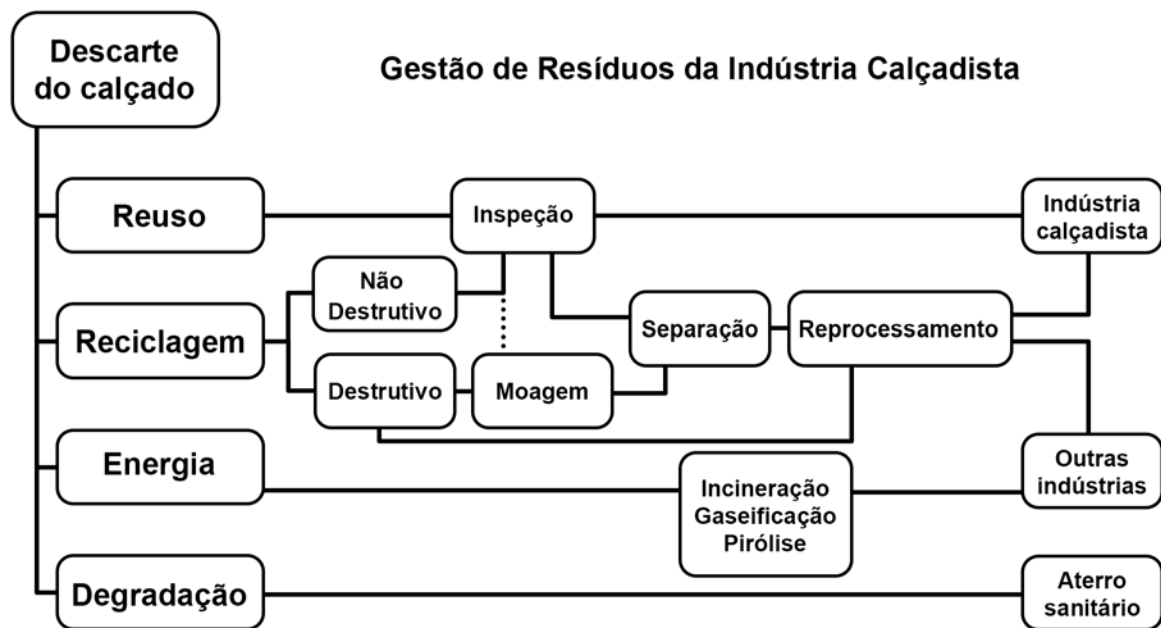
O impacto ambiental refere-se a utilização pela indústria calçadista dos recursos materiais e energéticos em grande escala. Em sua pesquisa, Kohan (2021) analisou os impactos ambientais da indústria calçadista, abordando o tema de maneira abrangente, subdividido em três tópicos: Ciclo de vida de produtos calçadistas; Gestão de resíduos da indústria calçadista; e a Relação do setor calçadista brasileiro e a sustentabilidade.

Quanto ao ciclo de vida, que inicia com a extração e obtenção da matéria prima e se encerra com o descarte ou reutilização do produto, a autora afirma que são utilizados aproximadamente quarenta tipos de materiais diferentes na produção de um calçado e que

as mudanças no mercado têm promovido ciclos de vida cada vez mais curtos. A gestão do ciclo de vida objetiva otimizar o desempenho em sustentabilidade de um produto, analisando o impacto ambiental, social e econômico de sua cadeia produtiva: extração, processamento, fabricação, uso, reciclagem ou reuso e disposição final. Existem diferentes métodos para auxiliar na gestão do ciclo de vida e estes métodos podem focar em etapas específicas da cadeia de produção, como o tratamento da matéria prima, a manufatura ou design e no pós consumo. A autora apresenta um estudo (páginas 74 e 75) que utilizou o método de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para analisar os potenciais de impactos gerados por diferentes materiais em que o couro obteve os maiores índices, seguido por plásticos e borrachas, têxteis e outros.

No tópico de Gestão de resíduos a autora aponta duas opções principais para a indústria calçadista, uma definida como pró-ativa e outra reativa. A opção pró-ativa busca minimizar os resíduos gerados na indústria, através do design ou substituição das matérias primas utilizadas. A opção reativa visa gerenciar os resíduos relativos ao fim da vida útil do produto, com a reutilização, a reciclagem, a recuperação de energia (combustão) ou a eliminação deste produto. Uma abordagem pró-ativa, referente ao design, está relacionada a utilização das tecnologias 3D na concepção do produto: scanners 3D, modelagem 3D e impressão 3D. Quanto à reciclagem (reativa) há duas opções de métodos: Destrutivo e Não destrutivo. No método Destrutivo os calçados são moídos ou triturados para em seguida serem separados e então reprocessados para retornar ao sistema produtivo, seja da indústria calçadista ou outras indústrias. A separação dos materiais é um processo demorado e não alcança grandes índices de aproveitamento, principalmente em algumas combinações de materiais (como borracha expandida e couro, por exemplo) que possuem densidades parecidas, dificultando o processo automatizado. No método Não destrutivo os calçados são inspecionados e as partes são separadas para reprocessamento e reintegração na cadeia produtiva de calçados ou em outras indústrias compatíveis. A figura 54 mostra o fluxograma dos métodos reativos para gestão dos resíduos da indústria calçadista.

Figura 54: Gestão de resíduos da indústria calçadista.



Elaborado pelo autor. Fonte: adaptado de Kohan, 2021.

A relação do setor calçadista brasileiro com a sustentabilidade é impulsionada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada em 2010, e por feiras nacionais e internacionais promovidas por entidades e empresas ligadas ao setor calçadista, com destaque para Abicalçados e Assintecal que promovem o selo Origem Sustentável no Brasil. A autora conclui que a PNRS se mostra atrasada, quando comparada a outras políticas parecidas em outros países mais desenvolvidos e que as alternativas são pontuais, também supõe que a falta de ação é maior em relação a processos reativos, como logística reversa e descarte adequado. (KOHAN, 2021)

Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é um método de produção que se contrapõe aos métodos tradicionais da maioria das indústrias, visto que neste método a matéria prima é trabalhada de forma que a produção gere o mínimo possível de excedentes para descarte.

Em seu trabalho de conclusão de curso “Proposta de entressola customizável fabricada por impressão 3D”, a designer Gabriela Chicarelli (2022) descreveu a técnica de manufatura aditiva como um método de fabricação automatizado realizado por adição contínua de material em camadas para formar um componente desenvolvido digitalmente

em três dimensões. Este método é mais conhecido pelo termo “impressão 3D” e inicialmente era denominado como “prototipagem rápida”, porém, a tecnologia tem avançado significativamente, permitindo também o uso para a fabricação de produtos finais. A autora apresenta o processo de manufatura aditiva dividido em cinco etapas: modelagem tridimensional; conversão para o formato de impressão; planejamento de impressão; fabricação; e pós processamento, respectivamente. A modelagem tridimensional é o processo de criação do modelo no meio digital, esta representação também pode ser obtida através do escaneamento do objeto a ser fabricado. A conversão para formato de impressão, consiste em converter o formato do arquivo gerado na etapa anterior em um formato de arquivo compatível com a impressora. O planejamento de impressão tem o objetivo de definir a melhor maneira para a deposição do material, otimizando o processo. A etapa de fabricação é quando a máquina começa a depositar material e formar o objeto desejado. A última etapa é o pós processamento que seria o acabamento da peça, este processo pode ser físico ou químico, a depender da tecnologia e dos materiais utilizados.

A fabricação de produtos finais através da manufatura aditiva permite que os produtos sejam customizados, quase que instantaneamente, em questões de forma e materiais antes mesmo de serem materializados. Contudo a autora ressalta que mesmo com o avanço estas tecnologias ainda são relativamente caras e lentas e podem não apresentar as mesmas propriedades mecânicas dos produtos produzidos através de técnicas tradicionais.

A manufatura aditiva possui diferentes processos que cumprem o mesmo objetivo, deposição de material, através tecnologias variadas, cada uma com suas vantagens e limitações, sendo necessária uma avaliação para seleção do melhor processo para a fabricação de determinado objeto. Chicarelli (2022) descreveu quatro tecnologias que já são utilizadas na fabricação de calçados: *FDM*, *SLS*, *SLA* e *DLS*⁶; a fim de definir a melhor para a aplicação em seu projeto.

- *FDM*

A técnica de manufatura aditiva chamada de *FDM* (sigla em inglês para “*Fused Deposit Modeling*”) refere-se a deposição em camadas de um material fundido que é

⁶ *FDM* - *Fused Deposit Modeling*; *SLS* - *Selective Laser Sintering*; *SLA* - *Stereolithography*; *DLS* - *Digital Light Synthesis*;

extrusado por um bico com um diâmetro pequeno; após ser depositado o material fundido torna-se sólido ao esfriar, aderindo a camada inferior. O bico extrusor movimenta-se horizontalmente nos eixos X e Y até preencher a camada, após a conclusão da camada a plataforma sobre a qual a peça está sendo formada movimenta-se verticalmente para baixo, no eixo Z, permitindo que uma nova camada seja depositada sobre a camada anterior. Devido ao fato de que o material é depositado ainda fundido, a composição de geometrias complexas, como estruturas suspensas ou negativas, demanda a utilização de suportes. Os suportes são compostos por um material diferente do que compõe a peça e são extrudados através de um segundo bico, possibilitando a sua remoção no pós processamento da peça. Os suportes são classificados em dois grupos - os solúveis (SR) e os quebradiços (BASS); o primeiro tipo é separado por meio de uma reação química e o segundo é separado através de ação mecânica. Esta técnica permite o uso de diversos materiais termoplásticos, como ABS, PLA, PA, PETG, TPU e PEI⁷, mas a precisão dimensional e o tempo de fabricação são afetados pelo diâmetro e movimentação do bico.

- SLS

A técnica de manufatura aditiva nomeada *SLS* (sigla em inglês para "*Selective Laser Sintering*") refere-se a sobreposição de finas camadas de pó depositadas sobre a plataforma e fundidas a laser somente em áreas específicas, tornando o material sólido apenas nessas áreas. Após a conclusão de cada camada a plataforma move-se para baixo, no eixo vertical Z, e uma nova camada é depositada e sobre a anterior, passando pelo mesmo processo repetidamente até que a peça seja concluída. Neste processo o pó não fundido permanece sobre a plataforma, funcionando como suporte para as partes suspensas, podendo ser facilmente removido e reutilizado quase que completamente, portanto o desperdício de matéria prima e o pós processamento da peça são minimizados. Os principais materiais utilizados nesta técnica são a base de PA, tornando a peça formada muito resistente, sendo indicada para usos em indústrias como a automobilística, cirúrgica entre outras. O acabamento das peças formadas por *SLS* pode conter superfícies porosas, devido ao tamanho dos grãos do pó utilizado, e o processo pode ser demorado devido ao constante aquecimento e resfriamento necessários para esta técnica.

⁷ PLA - Ácido Polilático; PETG - Polietileno Tereftalato Glicol; PEI - Polietierimida.

- *SLA*

A técnica de manufatura aditiva denominada *SLA* (sigla em inglês para “*Stereolithography*”) consiste na fotopolimerização de um material líquido que é colocado em uma cuba e se solidifica ao ser atingido por raios ultravioleta (UV). O laser UV se move nos eixos horizontais X e Y, atingindo a resina fotopolimérica, tornando-a sólida nos locais específicos, após a conclusão de cada camada a plataforma imersa na cuba cheia do material se move verticalmente para baixo, no eixo Z, e assim sucessivamente, até a conclusão da peça. Possui grande precisão dimensional e um acabamento superficial liso. Esta técnica demanda a utilização de suportes para a formação de estruturas complexas e estes suportes são feitos do mesmo material que a peça, tornando necessário um pós processamento para a retirada mecânica dos suportes, bem como uma limpeza para a remoção da resina não curada e uma última cura para consolidação e aumento da resistência mecânica. O principal material utilizado para a impressão em *SLA* é um fotopolímero patenteado chamado de Accura, com variações indicadas por números após o nome (exemplo Accura 60).

- *DLS*

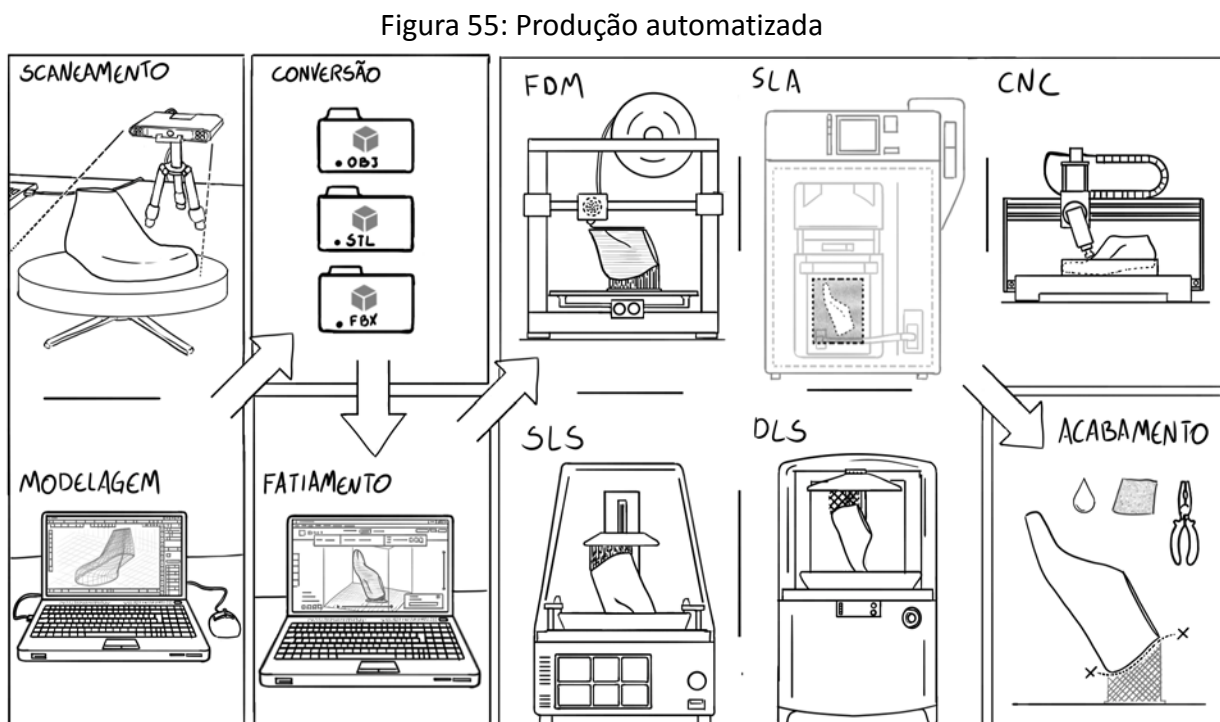
A técnica de manufatura aditiva chamada *DLS* (sigla em inglês para “*Digital Light Synthesis*”) refere-se na fotopolimerização de um material líquido depositado dentro de uma cuba que se solidifica ao ser atingida por uma luz digital. Este processo controla precisamente o oxigênio sob a superfície da peça formada para impedir a cura da resina em locais específicos. A plataforma submergida na resina líquida se move continuamente, no eixo vertical Z, para cima, o que acelera consideravelmente o processo quando comparado a outras técnicas de fotopolimerização onde o processo é feito camada após camada. Os principais materiais utilizados nesta técnica são a base de PU; também são necessários suportes, que são do mesmo material da peça, e um pós processamento para a cura completa da resina utilizada.

Ao analisar exemplos de calçados que utilizam tecnologias aditivas na produção, foi identificado um método de fabricação automatizada também utilizado para produzir calçados, mas que se diferencia dos apresentados anteriormente por ser caracterizado como manufatura subtrativa, portanto, uma descrição sobre o processo de usinagem por CNC pode contribuir para o desenvolvimento do projeto.

- CNC

A usinagem por CNC, segundo Pupo (2021), diferencia-se do corte por CNC por conceber peças em três dimensões. A usinagem automatizada pode desbastar diferentes tipos de material através do controle simultâneo de diferentes eixos, até alcançar o formato desejado, sendo que a quantidade de eixos está diretamente relacionada à qualidade final da peça.

A figura 55 apresenta as cinco etapas da manufatura aditiva descritas por Chicarelli (2022): Escaneamento e/ou modelagem; Conversão; Fatiamento; Fabricação; e Acabamento. A etapa de impressão possui representações esquemáticas dos 5 métodos descritos anteriormente, incluindo método subtrativo: *FDM*, *SLS*, *SLA*, *DLS* e *CNC*.



Elaborado pelo autor. Fonte: adaptado de PUPO, 2021; CHICARELLI, 2022.

Customização em Massa

Segundo Chicarelli (2022), a customização em massa é uma tendência que envolve o usuário no processo produtivo em busca de alcançar maior satisfação do usuário em questões funcionais e/ ou estéticas sem que o tempo de produção seja aumentado drasticamente. A autora destaca que essa tendência vem ganhando cada vez mais espaço nos diferentes setores da economia, inclusive na indústria calçadista, onde os usuários podem escolher os materiais, as cores e os acabamentos de seus tênis. A autora inclusive

cita que a empresa Nike possui um serviço de customização lançado no ano de 1999, onde os usuários podem escolher alguns atributos do calçado. A autora identifica que os calçados podem ser customizados em três aspectos: estético, funcional e antropométrico. A customização estética é referente a cores, texturas e outros elementos, dependendo do fabricante. A customização funcional diz respeito à finalidade do calçado a ser fabricado, através de alterações nos materiais, nas técnicas construtivas ou até nos aspectos dimensionais pode-se conceber calçados para as mais variadas atividades e climas. A customização no quesito da antropometria tem o objetivo de adequar o calçado do melhor jeito possível ao formato do pé do usuário, podendo ser especificamente projetado para as dimensões do pé em questão ou apenas uma aproximação deste formato que é analisado e comparado com uma forma já existente. A autora evidencia que estes três aspectos da customização de calçados geralmente são utilizados em conjunto.

- Exemplos de calçados que utilizam impressão 3D

PedCad Valinos

Os calçados Valinos da empresa PedCad foot technology, são fabricados sob medida a partir da medição dos pés do usuário por um *scanner* 3D ou um medidor de pressão plantar. A empresa utiliza técnicas de desbaste ou adição de material para produzir as palmilhas. O desbaste é feito por uma máquina CNC a partir dos blocos “em branco” fornecidos pela empresa em diferentes materiais (ou uma combinação de múltiplas camadas de diferentes materiais) para os mais diversos objetivos, como esporte, casual ou segurança. O método aditivo (*FDM*) é feito por uma impressora 3D da PedCad, chamada ped3D-FLX2, que possui duas plataformas para produção do par simultaneamente e utiliza o filamento específico pedFLX. Os calçados Valinos são totalmente customizáveis, o usuário pode escolher o material da sola, da entressola, da palmilha (e seu recobrimento) e do cabedal, dentre as opções fornecidas pela Pedcad, a figura 56 apresenta uma das opções de combinação dos chinélos produzidos pela empresa. (VALINOS, 2023)

Figura 56: Chinelo Valinos - PedCad

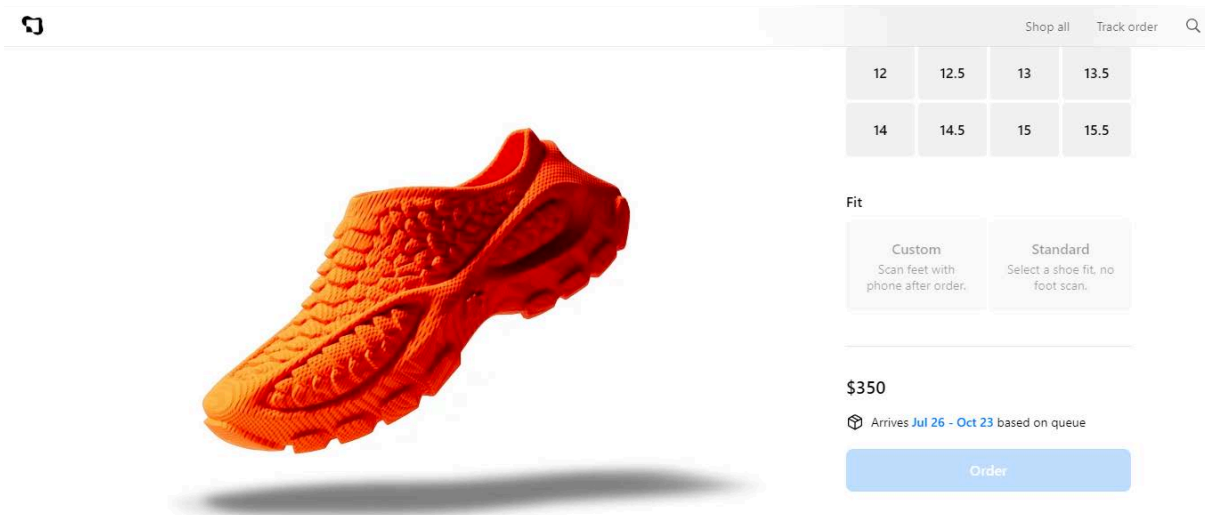


Fonte: VALINOS, 2023

Zellerfeld HERON01 v0.81

O calçado HERON01 v0.81 da empresa de *softwares* Zellerfeld em parceria com o designer Heron Preston, mostrado na figura 57, é um modelo de calçado monocomponente impresso em 3D (*FDM*) a partir do escaneamento do pé do usuário que pode ser feito pelo aplicativo da marca. O material utilizado para fabricar o calçado é o TPU reciclado e a empresa permite que os usuários mandem de volta seus calçados usados para que sejam analisados, destruídos e reconstruídos ou reaproveitados para confeccionar outro modelo, se desejado. (EVAN MALACHOSKY, 2022; ZELLERFELD, 2023)

Figura 57: Calçado HERON01 - Zellerfeld



Fonte: HERON PRESTON, 2023

Tênis Under Armour ArchiTech Futurist

O calçado da marca Under Armour batizado de ArchiTech Futurist, exibido na figura 58, possui uma entressola parcialmente impressa em 3D (SLS) com uma estrutura de treliça. O restante da entressola é feita com um material próprio da marca, chamado Micro G - uma espuma leve - e a sola é feita de borracha. O cabedal é confeccionado em couro ecológico de microfibra, outra tecnologia própria chamada SpeedForm, com um fecho de zíper na parte central superior. (CALVY CLICK, 2013; IMPRESSORAS3D.COM, 2018; UNDER ARMOUR, 2023;)

Figura 58: ArchiTech Futurist - Under Armour



Fonte: UNDER ARMOUR, 2023

New Balance Zante Generate

O calçado da marca New Balance chamado Zante Generate, visível na figura 59, é um calçado de corrida com a entressola em forma de colméia totalmente fabricada por impressão 3D (SLS). O material utilizado na entressola é o DuraForm (TPU) e oferece um ótimo equilíbrio entre flexibilidade, resistência, durabilidade e peso. O cabedal é feito por um têxtil de fibra sintética com estrutura mesh chamada Fresh Foam Zante v2. A estrutura de colméia da entressola é construída com variações de densidade: as áreas da distribuição plantar que sofrem mais pressão são compostas de mais e menores células, nas outras áreas as células são maiores e mais distantes umas das outras. (NERVOUS SYSTEM BLOG, 2015; NEW BALANCE, 2016)

Figura 59: Tênis Zante Generate - New Balance



Fonte: NEW BALANCE, 2016

The Genesis Project by Amadou Ba Ndiaye

Os calçados conceitos do designer Amadou Ba Ndiaye, intitulados “The Genesis Project”, consistem em um tênis e um sapato de salto alto fabricados por impressão 3D (SLS). O tênis, mostrado à esquerda da figura 60 é feito de uma única peça de TPU, sem montagem, com exceção das partes douradas personalizáveis que são fabricadas com o material que seria perdido na impressão da peça principal. O sapato de salto, à direita na figura 60, alto foi fabricado em três partes diferentes, o salto e o adorno em vermelho foram

impressos em PA 2200 e o cabedal foi impresso em TPU. O salto é colado ao cabedal enquanto o adorno é customizável. (MICHAEL PETCH, 2017)

Figura 60: Calçados da coleção The Genesis Project - Amadou Ba Ndiaye



Fonte: MICHAEL PETCH, 2017

Fiber 3D Maxis

O tênis da marca Brasileira Fiber (2023) chamado de 3D Maxis tem a sua entressola parcialmente impressa em 3D (*SLA*) em formato de trama e o restante da entressola é composto por EVA, bem como a palmilha. O cabedal é feito em malharia plana (*3D knit*) de fibras de garrafas PET usadas e a sola é emborrachada. Possui uma peça na parte medial anterior da entressola que funciona como um sistema anti torção.

Figura 61: Tênis Fiber Maxis 3D - Fiber



Fonte: FIBER, 2023

Reebok Liquid Floatride Run

O calçado da marca Reebok nomeado Liquid Floatride Run, mostrado na figura 62, possui a sola e uma estrutura amada, que substitui os cadarços tradicionais, fabricados através de impressão tridimensional. O material líquido foi desenvolvido exclusivamente para a marca e é depositado em camadas para compor partes do calçado e, depois de curados, dão forma aos diferentes componentes com excelente propriedade elástica e aparência brilhante. A entressola é composta por um material denominado Floatride, também exclusivo da marca. (REEBOK... 2018; RUNNER EXPERT, 2019)

Figura 62: Tênis Liquid Floatride Run - Reebok



Fonte: RUNNER EXPERT, 2019

Adidas 4DFWD x Parley

O calçado a marca Adidas que leva o nome da tecnologia da entressola e da marca em colaboração, chamada Parley For The Oceans, Adidas 4D FWD x Parley que pode ser visualizado na figura 63, possui a entressola fabricada por manufatura aditiva (*DLS*) em um formato específico de treliça que converte a energia do impacto vertical absorvida pelo material em um impulso para a frente através da resiliência do material, que retorna rapidamente ao formato original após ser deformado por pressão; segundo a empresa essa estrutura de treliça supera em até três vezes o impulso gerado pelas gerações anteriores da entressola 4D. O cabedal deste modelo é composto por material têxtil e a sola é de borracha Stretchweb. (HAYLEY EVERETT, 2021; ADIDAS DO BRASIL, 2023)

Figura 63: Tênis 4DFWD x Parley - Adidas



Fonte: ADIDAS DO BRASIL, 2023

CODE Footwear BIO 1

Os calçados produzidos pela empresa CODE Footwear são feitos sob medida em impressão 3D (*FDM*) a partir do envio de arquivos pelo usuário. A empresa possui modelos para uma variedade de esportes e o modelo chamado BIO 1, exibido na figura 64, é designado como casual esportivo, com indicação de uso em superfícies de cimento, terra e áreas internas. Todos os calçados da empresa possuem o solado chato, sem diferença de espessura ou de altura para a região posterior (calcanhar) ou elevação do bico. As palmilhas dos calçados da CODE Footwear possuem um acolchoado removível com possibilidade de diferentes alturas para a região dos metatarsos e é indicado o uso dos espaçadores entre os dedos, o acolchoado ativa o arco inferior dos metatarsos. O calçado denominado BIO 1 é totalmente reciclável, possui o solado composto de TPU flexível e o cabedal é uma combinação de partes impressas em 3D, couro e têxteis. (FOOTWEAR, 2023a; FOOTWEAR, 2023b.)

Figura 64: Calçado BIO 1 - CODE Footwear



Fonte: FOOTWEAR, 2023b

Shoetopia by Barbara Motylinska e Zuzana Gronowicz

O calçado chamado “Shoetopia”, visível na figura 65, foi projetado por duas designers polonesas para a graduação em design industrial no ano de 2017. O calçado é impresso em 3D (FDM) em três partes distintas - um solado e um cabedal dividido em duas partes - e foi projetado para não possuir colas ou costuras, podendo ser montado pelo usuário após impressão. O filamento utilizado é a base de amido e para o cabedal o filamento é depositado diretamente sobre um tecido natural, portanto é totalmente biodegradável. O projeto conta com um aplicativo de medição e um site para customização pelo usuário dos arquivos para impressão. (MOTYLINSKA, 2017; BEATRICE MURRAY-NAG, 2017; BRAUN PRIZE, 2018)

Figura 65: Calçado Shoetopia - Barbara Motylinska e Zuza Gronowicz



Fonte: MOTYLINSKA, 2017

Covestro Protótipo Desmopan

A empresa fornecedora de materiais poliméricos, Covestro, desenvolveu um protótipo de calçados com apenas dois componentes, solado e cabedal, produzidos em TPU com dois diferentes métodos de impressão 3D: pó e filamento. Após a impressão, as partes, exibidas na figura 66, são unidas com um adesivo de poliuretano (PU), que permite que os calçados sejam totalmente recicláveis e deem origem a novos filamentos. A empresa possui uma variada gama de produtos os quais indica para a utilização na fabricação de calçados, a linha de TPUs Desmopan, segundo o Covestro, é capaz de reduzir a pegada de carbono da produção de um calçado em até 20%. (DR. FRANK ROTHBARTH, 2019; COVESTRO, 2020.)

Figura 66: Protótipo de calçado Covestro - Desmopan



Fonte: DR. FRANK ROTHBARTH, 2019

Análise Morfológica

Na análise morfológica os produtos similares são analisados de forma ampla, levando em conta a estética, os materiais, processos de fabricação, dimensões etc. Foram incorporados quesitos morfológicos que levam em conta outros pontos como os contornos, as geometrias, transições, cores e texturas; e como estes elementos separados compõem o aspecto geral do produto. A análise morfológica foi feita com base em alguns dos modelos de calçados, apresentados anteriormente, foram selecionados quatro modelos entre calçados modulares e calçados que utilizam tecnologia 3D.

Shoetopia

Preço: Não disponível (até 7 de Junho de 2024);

Numeração: Personalizada via aplicativo/fotos;

Peso: Não disponível;

Componentes: Cabedal (2 partes); Mecanismo de ajuste (1 ou 2 partes); Solado;

Materiais - Cabedal: Têxtil natural e filamento flexível a base de amido;

- Solado: filamento flexível a base de amido;

Produção - Feita pelo usuário ou terceirizada em um local próximo - Cabedal: Impressão 3D (FDM) sobre têxtil natural;

Solado: Impressão 3D (FDM);

Montagem: Feita pelo usuário com apenas encaixes mecânicos, sem utilizar colas ou costuras para união das partes. As duas partes do cabedal são unidas ao solado por encaixes nas abas da base do cabedal;

Personalização - Cabedal: Cor de filamento; Cor e padrão têxtil; Padrão de impressão (ondas ou isométrico); Mecanismo de Ajuste;

Solado: Cor de filamento;

Ajuste: Botões; “grampo”;

As figuras 67 e 68 mostram os dois modelos desenvolvidos e detalhes do projeto Shoetopia.

Figura 67: Modelos de calçado Shoetopia



Elaborado pelo autor. Fonte: MOTYLINSKA, 2017

Figura 68: Detalhes do calçado Shoetopia



Elaborado pelo autor. Fonte: MOTYLINSKA, 2017

Formato: O cabedal possui um perfil ajustado ao formato do pé com um cano médio e o bico baixo. O solado possui uma clara divisão entre o salto e o antepé, com um padrão de ondas.

Cor: Variável de acordo com a preferência ou disponibilidade de tecido e filamento adequado;

Texturas: Fibras de têxtil natural e plástico “brilhante”;

Pontos positivos: Parametrização; Modularidade; Customização; Materiais biodegradáveis; Formato anatômico; Conforto (forro têxtil). Sem colas ou costuras; Poucos componentes (3); Fabricação local (transporte);

Pontos negativos: Complexidade para impressão 3D sobre o tecido; Mistura de diferentes materiais no cabedal; Complexidade da impressão 3D dos sistemas de ajuste sobre o cabedal já impresso sobre o tecido; Tecido pouco transpirável; Folga de montagem; Solado com 2 saltos.

Lyf 3D printed shoes

Preço: Não disponível (até 7 de Junho de 2024);

Numeração: Personalizada via utilização de um kit enviado pela empresa (Lyf Fit Kit);

Peso: Não disponível;

Componentes: Solado externo; Solado interno; Platô de performance; Palmilha; Placa de programação; Trava do calcanhar (2 partes); Cabedal (mais de 3 partes); Cadarços;

Materiais - Cabedal: Têxtil;

- Palmilha: Cortiça reciclada;
- Solado: filamento flexível;

Produção - Cabedal: Impressão sobre têxtil;

Palmilha: CNC sobre cortiça reciclada;

Solado: Impressão 3D (*FDM*);

Montagem: Feita pelo usuário apenas com encaixes mecânicos, sem utilizar colas ou costuras para união das partes. As partes do cabedal são unidas ao platô de performance e a parte interior do solado através das abas na lateral do platô. Através destas abas também é encaixada a parte externa do solado. A palmilha/entressola de cortiça é posicionada sobre o platô de performance, dentro do calçado e possui uma cavidade na região do salto onde deve ser inserida pelas laterais, em duas partes, a trava do calcanhar, que contém uma placa de programação com sensores em seu interior. A finalização se dá pela inserção dos cadarços dentro dos olhais;

Personalização - Cabedal: Cor do têxtil; Impressão no têxtil;

Solado: Cor de filamento;

Ajuste: Cadarços;

A Figura 69 mostra uma compilação de imagens com detalhes do calçado Lyf 3D.

Figura 69: Detalhes do calçado Lyf 3D



Elaborada pelo autor. Fonte: adaptado de MICHAEL MOLITCH-HOU, 2014

Formato: O cabedal possui um perfil arredondado com um cano médio, o bico é alto e arredondado. O solado possui um salto evidente, com um padrão de linhas nas laterais;

Cor: Variável de acordo com a preferência ou disponibilidade do filamento;

Texturas: Fibras de têxtil e plástico emborrachado;

Pontos positivos: Modularidade; Customização; Conforto (forro têxtil e palmilha de cortiça);

Placa de programação; Algumas partes usadas podem ser transformadas em novas;

Pontos negativos: Especificidade da impressão sobre o tecido; Tecido pouco respirável;

Perfil arredondado e formato do salto semelhante a um calçado de segurança (estética geral); Muitos componentes (mais de 8);

Movez Traveler

Preço - Sapatilha e Solado externo: U\$ 124.99;

- Solado externo U\$ 35.95 (MUVEZ, 2023);

Numeração: Ponto Inglês Americano com meio ponto apenas para o solado externo;

Peso: Não disponível;

Componentes: Sapatilha; Solado externo;

Materiais - Sapatilha/Cabedal: Têxtil sintético (knit; laminado sintético e outro).

- Sola: espuma
- Solado externo: espuma.

Produção - Cabedal: costurado

Solado: Injetado

Solado: Injetado;

Montagem: industrial - Corte, costura, injeção, colagem. Para encaixar o Solado externo basta deslizar a ponta da sapatilha na área própria do solado externo, onde há uma proteção para os dedos, e pressionar o calcanhar para encaixar a saliência do solado da sapatilha dentro da cavidade do solado externo. Para remover o solado externo basta pressionar o calcanhar de um pé utilizando a ponta do pé oposto, elevar o calcanhar deslizar a sapatilha para fora do solado externo.

Personalização - Sapatilha - Solado e Cabedal: 3 Opções de cor;

Solado externo: 2 Opções de cor;

Ajuste: cadarço elástico fixo;

As figuras 70 e 71 foram feitas pelo autor para mostrar os detalhes e as diferentes colorações do calçado Muvez Traveler.

Figura 70: Detalhes do calçado Muvez Traveler



Elaborada pelo autor. Fonte: adaptado de MUVEZ, 2023

Figura 71: Imagens de divulgação do calçado Muvez Traveler



Elaborada pelo autor. Fonte: adaptado de MUVEZ, 2023

Formato: O cabedal possui um perfil ajustado ao formato do pé com um cano médio e o bico baixo. O solado da sapatilha é baixo e possui em sua face lateral apenas um formato chanfrado na região do calcanhar. O solado externo possui uma proteção superior no bico de formato arredondado. Na lateral, o solado externo conta com uma “linha média”, que acompanha o formato chanfrado do solado da sapatilha, e rebaixos em forma de linhas anguladas que são seguidas pelo formato angulado na parte superior do solado na região do enfranque-calcanhar e da estrutura de proteção do bico.

Cor - Sapatilha: Tons neutros, tons pastéis e azul.

Solado: Tons neutros, tons pastéis e marrom.

Texturas - Sapatilha: Fibras de têxtil (*knit*) e espuma emborrachada;

Solado: Polímero emborrachado.

Pontos positivos: Modularidade; Conforto; Versatilidade; Estética; Poucos componentes (2); Têxtil respirável;

Pontos negativos: Perfil arredondado da proteção do bico no solado externo; Ajuste fixo; Customização limitada; Sistemas de medidas tradicionais; Montagem com colas e costuras; Mistura de diferentes materiais na sapatilha.

Reebok Liquid Floatride Run

Preço: U\$ 180.00 (REEBOK... 2018)

Numeração: Ponto Inglês Americano.

Peso: 348g (número 7.5 feminino)

Componentes: Calçado e palmilha interna - Não modular;

Materiais - Cabedal: Têxtil sintético (knit), espuma e Liquid Lace (cadarço);

- Entressola: espuma Floatride;
- Solado externo: Liquid Grip;

Produção - Cabedal: Knit, Injeção, e impressão 3D;

- Solado: Injeção e impressão 3D

Montagem: industrial.

- Knit, injeção, colagem e Impressão 3D. A parte frontal do cabedal é produzida em malharia plana de têxtil sintético e a parte traseira é produzida em espuma injetada/moldada, ambas partes são costuradas na palmilha de montagem. O sistema de ajuste Liquid Lace é impresso em 3D com tecnologia própria da marca, bem como o solado externo. A entressola é injetada em uma ou mais partes diferentes e (supõe-se que) as partes são unidas através de cola: Cabedal, Liquid Lace (cadarços), Entressola e Liquid Grip (solado externo);

Personalização: Não disponível;

Ajuste: cadarço flexível Liquid Lace fixo;

A figura 72 apresenta fotos com diferentes perspectivas do tênis Reebok Liquid Floatride Run.

Figura 72: Detalhes do calçado Reebok Liquid Floatride Run



Elaborada pelo autor. Fonte: adaptado de RUNNER EXPERT, 2019

Formato: O cabedal possui um perfil ajustado ao formato do pé na parte anterior com um cano médio e o bico baixo. A área do calcanhar possui um formato angulado em direção a região do enfranque e um padrão hexagonal (colmeia) na face lateral externa. O sistema de ajuste Liquid Lace possui um formato de grade com estruturas em formato de losangos verticais, em sua maioria, que envolve o peito do pé e a parte superior da região do calcanhar no cabedal. A entressola possui duas partes distintas: uma superior preta e uma inferior branca. As duas partes parecem se unir através de um relevo triangular da parte superior que se encaixa no relevo oposto da parte inferior. Na parte inferior o formato triangular é complementado por um padrão formado por rebaixos de linhas em formato de losango horizontal. Ao longo da face lateral da parte inferior da entressola há também um padrão de relevos quadriculados suaves. O solado externo, em sua face inferior, possui um padrão de listras horizontais impressas em 3D sobre um tipo de têxtil sintético, as listras se estendem até a ponta do bico, que é colada no cabedal. A elevação do bico é acentuada.

Cor: Tons neutros.

Texturas - Fibras de têxtil (*knit*), espuma emborrachada e plástico emborrachado brilhoso;

Pontos positivos: Conforto; Estética; Têxtil transpirável; Manufatura aditiva;

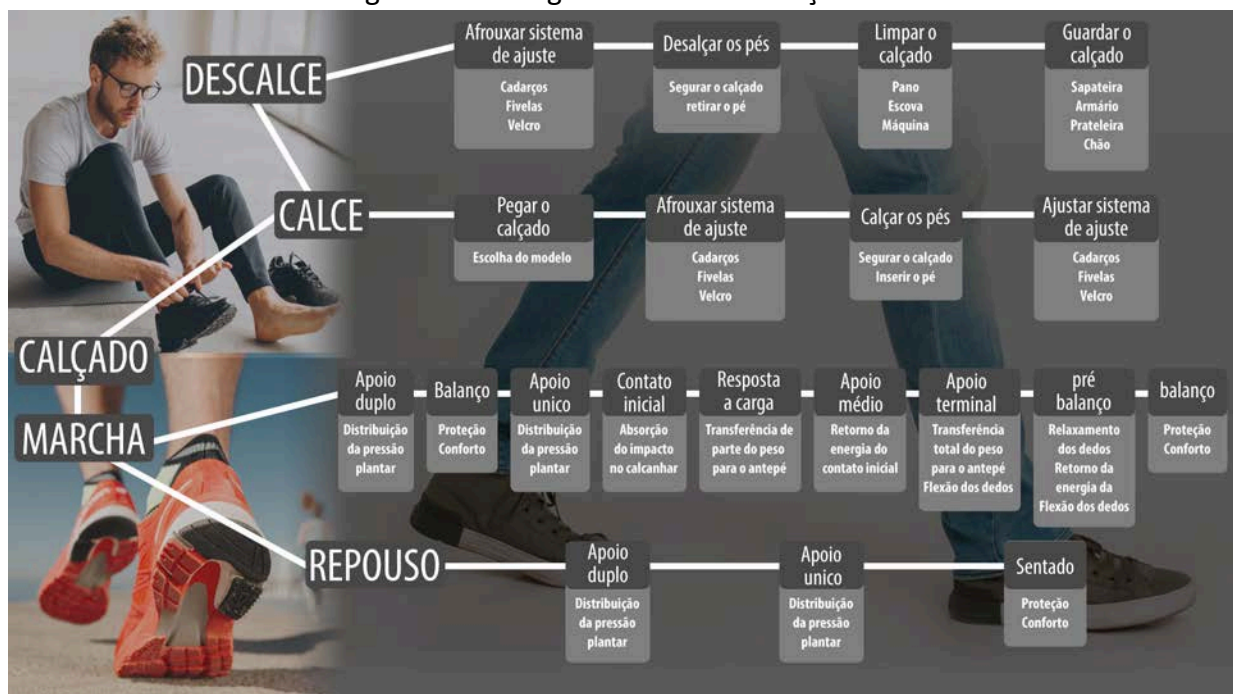
Pontos negativos: Ajuste fixo; Não customizável; Não modular; Sistemas de medidas

tradicional; Montagem com colas e costuras; Mistura de diferentes materiais. Solado externo pouco durável e barulhento quando molhado.

Análise Funcional

Este tópico apresenta uma análise feita pelo autor da interação do usuário com o produto através de um fluxograma, visível na figura 73, inicialmente dividido entre as fases de “calce” e “marcha” que por sua vez foram ramificados com “descalce” e “reposu”, respectivamente.

Figura 73: Fluxograma de uso do calçado



Fonte: elaborado pelo autor

Com este fluxograma foi possível identificar que durante o “calce” e o “descalce” o usuário interage majoritariamente com o cabedal e seu sistema de ajuste. Durante a marcha, bem como durante o repouso, as interações são constantes entre o usuário e o calçado, destacando-se a proteção constante e as etapas onde há absorção do impacto e extensão dos dedos.

Análise de desgaste

Esta análise foi desenvolvida pelo autor para investigar o desgaste em diferentes partes de modelos variados de calçados. Para isto, foram selecionados calçados disponíveis em sua própria residência, pertencentes ao autor ou a seus familiares, usados para diferentes atividades que apresentam claros sinais de desgaste; calçados já reformados; e calçados já inutilizáveis.

Buscou-se identificar os motivos que fazem com que partes específicas se desgastem mais que outras, comprometendo total ou parcialmente a funcionalidade e/ou a estética dos calçados. Vale ressaltar que os desgastes dos calçados estão diretamente ligados às atividades praticadas com eles, às características fisiológicas da pessoa que os utilizou e também aos materiais e técnicas empregados na fabricação de cada modelo. A análise consiste em um quadro (quadro 1, p. 154 à 156) com imagens dos calçados analisados, identificação do componente danificado e uma breve descrição do dano encontrado no componente em questão.


Quadro 1: Análise de desgaste.

IMAGEM	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
(continua)		
	CABEDAL	Os componentes de laminado sintético descascaram na superfície.
	SOLADO	A sola composta de muitas partes descolou da entressola que também descolou do cabedal.

Quadro 1: Análise de desgaste.

IMAGEM	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
(continuação)		
	SOLADO	O material macio do solado se desgastou em pontos específicos e foi rompido.
	SOLADO	O solado ressecou e tornou-se quebradiço, descolando-se do cabedal.
	SOLADO	O solado descolou do cabedal e foi consertado (colado e costurado) por um sapateiro.
	CABEDAL	O Laminado sintético que compõe o cabedal descascou quase completamente.

Quadro 1: Análise de desgaste.

IMAGEM	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
(conclusão)		
	CABEDAL	O laminado sintético que compõe o cabedal rompeu-se em diversas partes.

Fonte: elaborado pelo autor

Com esta análise pôde-se concluir que:

Mesmo entre calçados de diferentes modelos e utilizados para diferentes atividades, o desgaste dos calçados é distribuído principalmente entre o cabedal e o solado; ou na união entre os componentes.

Os cabedais, normalmente compostos de têxteis naturais ou sintéticos, são relativamente mais sensíveis e podem se desgastar, e até se romper, ao sofrerem algum tipo de atrito externo, ou mesmo por perda das características físicas de algum dos materiais que o compõem, devido a ação do tempo ou do armazenamento em condições inadequadas.

Os solados são desgastados principalmente por atrito e materiais mais macios são mais sensíveis a este desgaste, devido a aspereza das superfícies. Por este motivo alguns calçados que necessitam de maior absorção do impacto, e portanto possuem materiais extremamente macios no solado, contam com uma sola externa composta de um material mais rígido e aderente, capaz de suportar o desgaste causado pelo atrito com o solo, prolongando a vida útil do calçado e otimizando a aderência do calçado em relação ao chão. Esta sola externa normalmente é unida a entressola do calçado através de um adesivo (cola), fazendo com que a ação do tempo ou o armazenamento do calçado em condições inadequadas prejudiquem a funcionalidade do calçado ao prejudicarem a ação do adesivo utilizado para unir essas partes.

Os solados normalmente são compostos de materiais elastômeros semi rígidos que, devido a ação do tempo, tornam-se mais rígidos, perdendo suas características físicas e podendo até romper-se por conta do ressecamento do material.

Acesso às normas brasileiras

O acesso às normas da ABNT é restrito a pagamento e apenas algumas informações estão disponibilizadas no catálogo, como o código, a data de publicação, o título, o comitê responsável, a quantidade de páginas, se está em rigor ou não, se está em revisão, o idioma, o órgão responsável, o preço, o objetivo e também as outras normas necessárias para aplicação da norma em questão. Como este projeto é para concluir a graduação em bacharelado no curso de Design da Universidade Federal de Santa Catarina, as normas puderam ser visualizadas na íntegra através do repositório disponibilizado pela universidade.

Com a conclusão do passo de análise, o segundo passo da metodologia projetual de Bonsiepe (1984), conclui-se também a primeira parte do primeiro diamante da metodologia *Double Diamond* (2003) e inicia-se a segunda parte do primeiro diamante, a etapa “Definir”, na qual foi inserido o terceiro passo de Bonsiepe (1984) - Definição do Problema;

2.2 DEFINIR

Nesta etapa da metodologia *Double Diamond* (2003) são significados os resultados das análises feitas anteriormente para a formulação de um briefing claro para o projeto, apresentando os requisitos de projeto e sua hierarquia.

2.2.1 Definição do Problema

O projeto deve conceber um protótipo de calçado modular fabricado digitalmente com um sistema de montagem simples, que permita a montagem manual pelo usuário sem necessidade de colas ou costuras.

Ergonomia - A forma do calçado deve ser feita personalizada para o usuário final, com dimensões e características específicas para cada pé. As NBRs 14835 (ABNT, 2021a) e 14839 (ABNT, 2015) solicitam que sejam utilizados como corpo de prova para a determinação da massa do calçado as numerações entre 35 e 37, para os calçados

femininos, e entre 40 e 42, para calçados masculinos. Como o projeto será direcionado para ambos os gêneros, o peso do calçado deve ser igual ou menor ao indicado como confortável para o respectivo tamanho desenvolvido. Para que seja encontrado o formato que mais se aproxima das medidas reais, a forma desenvolvida deverá ser comparada com imagens 2D ou 3D captadas do pé do usuário, para garantir que o calçado fabricado seja adequado aos pés em questão. Para medir o conforto dos calçados, a NBR 14853 (ABNT 2021), estabelece que para ser considerado confortável o par de um calçado feminino de número 37 deve pesar menos de 530g e o par de um calçado masculino de numeração 40 deve pesar menos de 680g. Para serem considerados de conforto normal, os pares de calçados da mesma numeração devem pesar até 818g, para o feminino, e 960g, para o masculino. Portanto, o par de calçado desenvolvido para este projeto deve pesar no máximo o peso indicado para calçados masculinos do mesmo tamanho.

Funcionalidade - A montagem do calçado deve ser o mais simples possível, com uma quantidade reduzida de componentes e encaixes intuitivos, capazes de suportar as frequentes solicitações - compressão, flexão, torção etc. - das atividades do dia a dia, como caminhar ou ficar em pé por um determinado tempo e também nos momentos de calce e descalce do calçado. A NBR 16453 (ABNT, 2021) define os calçados masculinos e femininos de média a baixa solicitação, para uso diário ou casuais como sendo de Classe III.

O calçado deve conter 3 partes principais: solado, cabedal e palmilha; que para facilitar a montagem, poderão ser constituídos por mais de um componente. O desenho do calçado não deve restringir os movimentos do tornozelo e os materiais do cabedal, palmilha e solado devem ser flexíveis para permitir a flexão das articulações metatarsofalangeanas, bem como para absorver o impacto do caminhar sem comprometer a estabilidade, evitando a pronação excessiva ao marchar. O índice de pronação deve ser limitado a um ângulo máximo de 6 graus, como especificado pela NBR 14839 (ABNT 2015), para ser considerado normal ou confortável. Para uma melhor distribuição da pressão plantar, a diferença entre a altura do apoio do calcanhar e o apoio das articulações metatarsofalangeanas (*drop*) não deve superar o valor de 20mm. O ajuste do cabedal no dorso do pé, se necessário, deve conter até 5 pontos de fixação.

Produção - As diferentes partes do calçado desenvolvido devem ser produzidas majoritariamente com técnicas de manufatura aditiva utilizando-se materiais recicláveis. As

partes que não forem produzidas com manufatura aditiva devem conter materiais já reciclados (ou reutilizados) e/ou recicláveis em sua totalidade.

Estética - A estética do produto deve representar o painel visual de produtos e os conceitos presentes nos painéis semânticos desenvolvidos.

Requisitos de Projeto

O quadro 2 (páginas 159 à 162) apresenta os requisitos classificados quanto à prioridade como Obrigatório (O) ou Desejável (D). Para cada requisito são apresentados os objetivos, a categoria e a fonte, derivados das diferentes etapas de análise.

Quadro 2: Requisitos de Projeto.

Categoria	Requisito	Objetivo	Prioridade (O/D)	Fonte
(continua)				
Funcional	Uso 8 à 10h /dia	Calçado de Classe III. Desenvolver um calçado casual, para o dia a dia e caminhadas leves.	D	Análise estrutural
	Calce	< 15 seg. Permitir um calce rápido	D	Análise funcional
	Ajuste	< 5 partes. Permitir o ajuste após o calce	D	
Funcional	Conforto	Menor que o peso máximo para calçados confortáveis (220g para calçados 33). Permitir a expansão e transpiração do pé dentro do calçado, a articulação dos ossos e o funcionamento dos músculos.	O	Análise estrutural

Quadro 2: Requisitos de Projeto.

Categoria	Requisito	Objetivo	Prioridade (O/D)	Fonte
(continuação)				
Funcional	DROP - Diferença de Altura entre o calcanhar e a região Metatarsfalangeana.	Entre 10 e 15 mm. Promover uma otimização da distribuição da pressão plantar	D	Análise funcional
	Absorção de impacto	< 300kg. Suportar o peso do corpo quando parado e absorver o impacto das fases de apoio durante a marcha.	O	
	Movimentos do tornozelo.	Permitir os movimentos do tornozelo em suas amplitudes máximas, sem comprometer a estabilidade.	O	Ergonomia Funcional
	Baixo Índice de Pronação	≤ 6,0º Promover estabilidade durante os repetidos ciclos de marcha.	D	Análise Funcional
	Extensão dos dedos	> 45º Permitir a extensão máxima dos dedos durante a marcha.	O	
	Descalce	< 30 seg. Permitir um descalce rápido sem comprometer o sistema de montagem.	D	
Estrutural	Sistema de Medidas	Milímetros. Personalizado para o país de produção / usuário.	O	Análise Estrutural

Quadro 2: Requisitos de Projeto.

Categoria	Requisito	Objetivo	Prioridade (O/D)	Fonte
(continuação)				
Estrutural	Forma	Customizada. Modelo 3D personalizado de acordo com o pé do usuário.	O	Análise Estrutural
	Montagem	3 a 5 componentes. < 3 minutos. Permitir uma montagem simples e firme, sem utilizar colas ou costuras.	O	
	Solado	1 ou 2 componentes. Permitir uma montagem simplificada com a palmilha e o cabedal.	O	
	Palmilha	1 componente. Personalizável para planta do pé do usuário. Permitir uma montagem simplificada com o solado e o cabedal.	O	
	Cabedal	1 ou 2 componentes. Permitir uma montagem simplificada com a palmilha e o solado	O	
	Materiais	Solado: flexível, reciclado e totalmente reciclável.	D	

Quadro 2: Requisitos de Projeto.

Categoria	Requisito	Objetivo	Prioridade (O/D)	Fonte
(conclusão)				
Estrutural	Materiais	Cabedal: flexível, transpirável, reciclado e parcialmente ou totalmente reciclável.	D	Estrutural
Estética	Formato	Painéis Semânticos; Painel visual de produtos.	D	Painéis
Econômica	Produção	>90% Manufatura Aditiva.	D	Análise Sincrônica
	Custo	<R\$ 200,00 por par.	D	
	Reciclagem	Desmontagem fácil e possibilidade de reutilização do material para a confecção de um novo modelo.	O	

Fonte: elaborado pelo autor

Painéis Semânticos

Os painéis semânticos desenvolvidos nesta etapa buscam traduzir em imagens e formas os 3 conceitos formulados a partir das etapas de problematização e análises: cíclico, ecológico e confortável. Os painéis são apresentados respectivamente nas figuras 74, 75 e 76; e cada um contém oito imagens, dispostas em duas linhas de quatro imagens, com um texto em branco centralizado no topo sobre uma forma retangular preta, os textos indicam o conceito para cada painel.

Figura 74: Painel Semântico - Cíclico



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 75: Painel Semântico - Ecológico



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 76: Painel Semântico - Confortável



Fonte: elaborado pelo autor

Painel Visual de Produtos

O painel visual apresentado na figura 77, visa reunir produtos para diferentes finalidades que contém uma estética semelhante aos produtos (calçados) analisados nas análises sincrônica e morfológica. Dentre os calçados analisados na etapa citada, foram selecionadas algumas características, que foram encontradas em outros produtos já comercializados, as quais seria interessante, do ponto de vista do autor, aplicar no calçado a ser desenvolvido.

Comfort Sport

Figura 77: Painel Visual de Produtos - *Comfort Sport*



Fonte: elaborado pelo autor

Com estes quatro painéis define-se a estética pretendida para o produto, completando a categoria Estética da tabela de requisitos e, portanto, completando a etapa Definir da metodologia. Na etapa seguinte Desenvolver serão apresentadas as soluções desenvolvidas a partir dos requisitos apresentados na tabela.

2.3 DESENVOLVER

Nesta etapa, correspondente à primeira fase do segundo diamante da metodologia *Double Diamond* (2003), serão apresentadas as opções de soluções funcionais e estéticas para o calçado a ser desenvolvido. As soluções funcionais buscam possibilitar a união das partes, para montagem do calçado, apenas com encaixes mecânicos. Para isto, foram desenvolvidos modelos testes para impressão 3D no Laboratório Pronto 3D da UFSC utilizando o filamento adquirido pelo autor. As soluções estéticas estão focadas em representações 2D e buscam alinhar a aparência do produto produzido com impressão 3D aos painéis apresentados nos itens anteriores.

2.3.1 Anteprojeto

A fase de Anteprojeto para Bonsiepe (1984) consiste em utilizar métodos para gerar alternativas diferentes que solucionem o mesmo problema, com nível de detalhamento suficiente para uma avaliação mais precisa, podendo incluir um modelo volumétrico da solução desenvolvida. Como descrito anteriormente, as soluções foram qualificadas entre funcionais e estéticas. Isto permitiu sintetizar a representação visual das soluções funcionais e desenvolver testes de impressão para cada princípio de solução elaborado. Portanto, os modelos desenvolvidos não são considerados volumétricos, já que foram concebidos em escala e complexidade reduzidas.

Soluções Funcionais

Para as Soluções Funcionais, o método utilizado pelo autor deste projeto consiste em uma combinação entre os métodos Caixa Morfológica e Criação Sistemática de Variantes, citados por Bonsiepe (1984). Segundo ele, estes métodos são utilizados para encontrar possíveis soluções a partir da combinação de componentes ou subsistemas e a partir da identificação e combinação dos princípios básicos, respectivamente. A combinação entre os métodos tornou-se necessária devido ao fato de que os componentes ou subsistemas desenvolvidos poderiam interferir ou impossibilitar a funcionalidade de alguns princípios básicos relativos ao uso dos calçados. Desta forma, os princípios básicos de montagem identificados foram a união entre o cabedal e a sola; e o ajuste do cabedal ao dorso do pé e tornozelo. As soluções de união entre o cabedal e a sola contêm alguns subsistemas para união dos componentes base: Cabedal, Palmilha e Solado.

O cabedal de todas as soluções foi delimitado à produção planificada, de modo que simplifique o processo de impressão 3D e, ao utilizar-se de um filamento flexível, simule as características dos têxteis comumente utilizados na indústria de calçados, como flexibilidade e transpirabilidade. Portanto, o cabedal demanda um sistema de união entre as bordas, localizadas preferencialmente na região do calcanhar, onde este sistema de união possa contribuir para a formação da estrutura traseira e sustentação do formato do calçado. Os três sistemas de montagem desenvolvidos podem ser vistos na figura 78.

Solução 1 - Abas

A primeira solução de montagem, representada na figura 79, foi desenvolvida com um sistema de abas na palmilha que se conectam ao cabedal e ao solado, mantendo os componentes unidos.

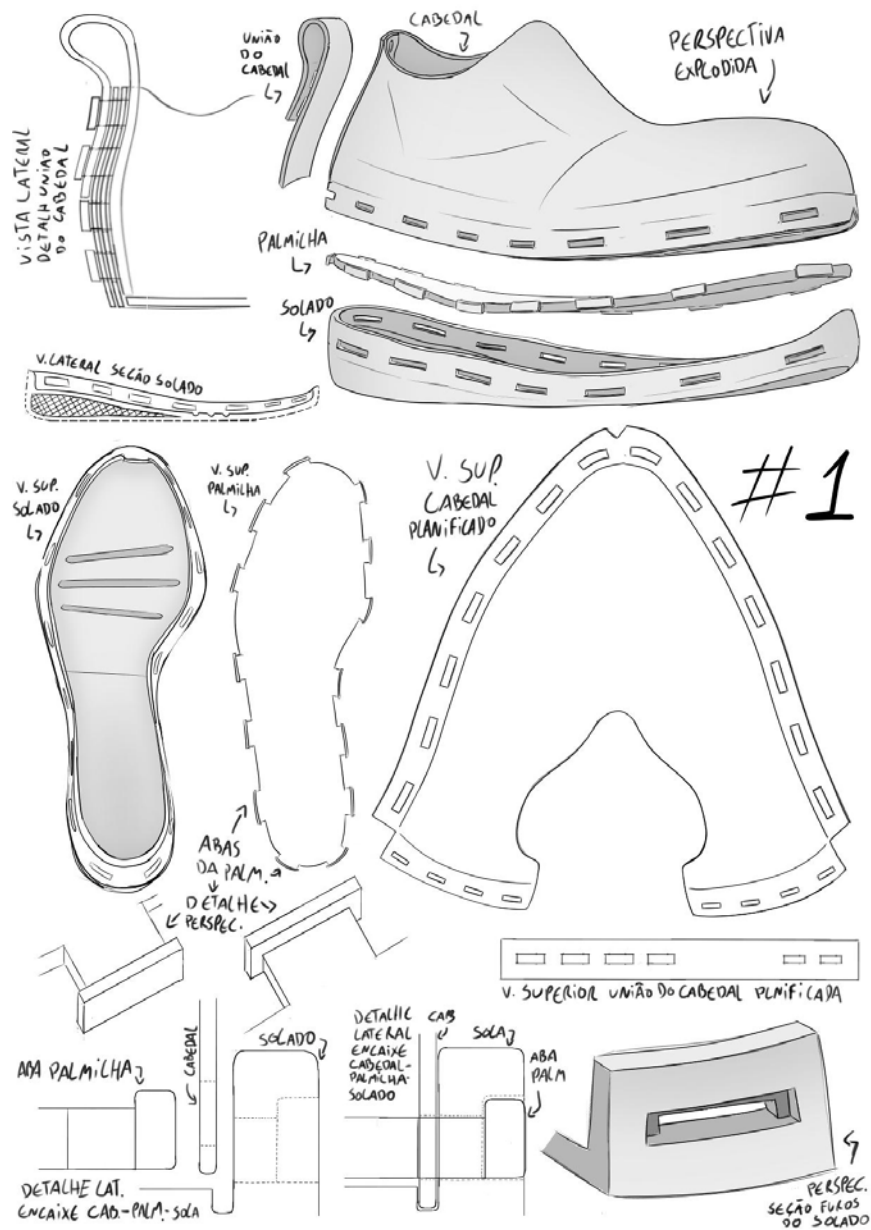
Como pode ser visto na figura, as abas estão presentes ao longo de toda a lateral da palmilha, contendo a mesma espessura da palmilha, exceto pela saliência superior na extremidade de cada aba. Esta saliência, que pode ser vista em detalhe na parte inferior esquerda da figura 79, tem o propósito de travar os componentes no lugar após o encaixe com o solado.

O cabedal planificado, representado de maneira simplificada na figura 79, contém furos retangulares com dimensões ligeiramente maiores que as abas da palmilha, permitindo que estas ultrapassem o cabedal e conectem-se também ao solado. O subsistema de união da parte traseira do cabedal conta com um quarto componente além dos três principais. Este componente possui um formato retangular alongado e conta em uma extremidade com abas, semelhantes às presentes na lateral da palmilha, dispostas na vertical, de modo que se conectem com os furos presentes na região traseira do cabedal, semelhantes aos presentes na região externa. Na outra extremidade deste componente há também furos semelhantes aos dispostos na região traseira do cabedal, permitindo que o componente seja flexionado e encaixe-se com suas próprias abas da outra extremidade, unindo as bordas traseiras do cabedal e fornecendo estrutura ao calçado. Um detalhe lateral deste subsistema pode ser observado na parte superior esquerda da figura 79.

O solado desenvolvido nesta solução foi representado de maneira simplificada, sem muitos detalhes como relevos laterais ou inferiores. O solado possui uma estrutura com o calcanhar mais elevado que a região da articulação metatarso-falangeana, onde há vincos na superfície superior que visam otimizar a flexão na região de maior solicitação. Estes detalhes podem ser observados na parte central à esquerda da figura 79. A estrutura lateral do solado ultrapassa sua superfície superior, é nesta estrutura sobressalente que estão localizados, ao longo de toda a sua lateral, os furos que abrigam as abas presentes na palmilha. Após o posicionamento do cabedal sobre a palmilha, as abas são encaixadas nos furos do solado, onde os furos possuem uma pequena diferença de nível que permite que estas abas fixem-se ao solado através das saliências em suas extremidades, impedindo que os componentes se desconectem com facilidade. Os detalhes deste sistema de encaixe estão

representados de maneira simplificada na porção inferior da figura 79 com uma perspectiva seccionada dos furos do solado à direita.

Figura 79 - Sistema 1 - Abas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Solução 2 - Deslizante

A segunda solução de montagem, representada na figura 80, foi idealizada com um sistema de montagem composto por três componentes principais: Cabedal, Palmilha e Solado. Os três componentes estão representados em vista explodida no canto superior direito da respectiva figura. O cabedal foi desenvolvido para produção planificada e possui

um recorte sinuoso, compatível com o formato da palmilha, a qual possui uma estrutura elevada na região posterior, necessária para dar sustentação ao calçado na parte do calcanhar. Na base, a palmilha tem um formato semelhante ao da sola, a qual tem dimensões levemente ampliadas, em relação a palmilha. A união entre o Cabedal e a Palmilha se dá através de uma fenda interna ao longo de toda a Palmilha, semelhante a estrutura protuberante presente na base do Cabedal, só que na face externa. Estas estruturas estão representadas de maneira esquemática no canto superior esquerdo da figura 80.

A fenda interna da palmilha tem uma espessura mais fina na superfície do que na região mais profunda, onde há um espaço mais alargado em formato circular. Com o mesmo formato, só que ao inverso, a protuberância presente no cabedal possui uma base estreita e o topo com formato circular. A fenda na palmilha acompanha sua borda superior de maneira equidistante ao longo de toda a face interna, possuindo apenas uma “entrada” alargada na parte posterior. Esta entrada permite que a região mais larga da saliência no cabedal encontre a região mais larga da fenda, localizada mais profundamente. A similaridade dos formatos ao longo de ambas estruturas, Cabedal e Solado, permite que, uma vez inserido, o Cabedal deslize pela fenda até alcançar a posição adequada, onde suas duas bordas traseiras se encontram.

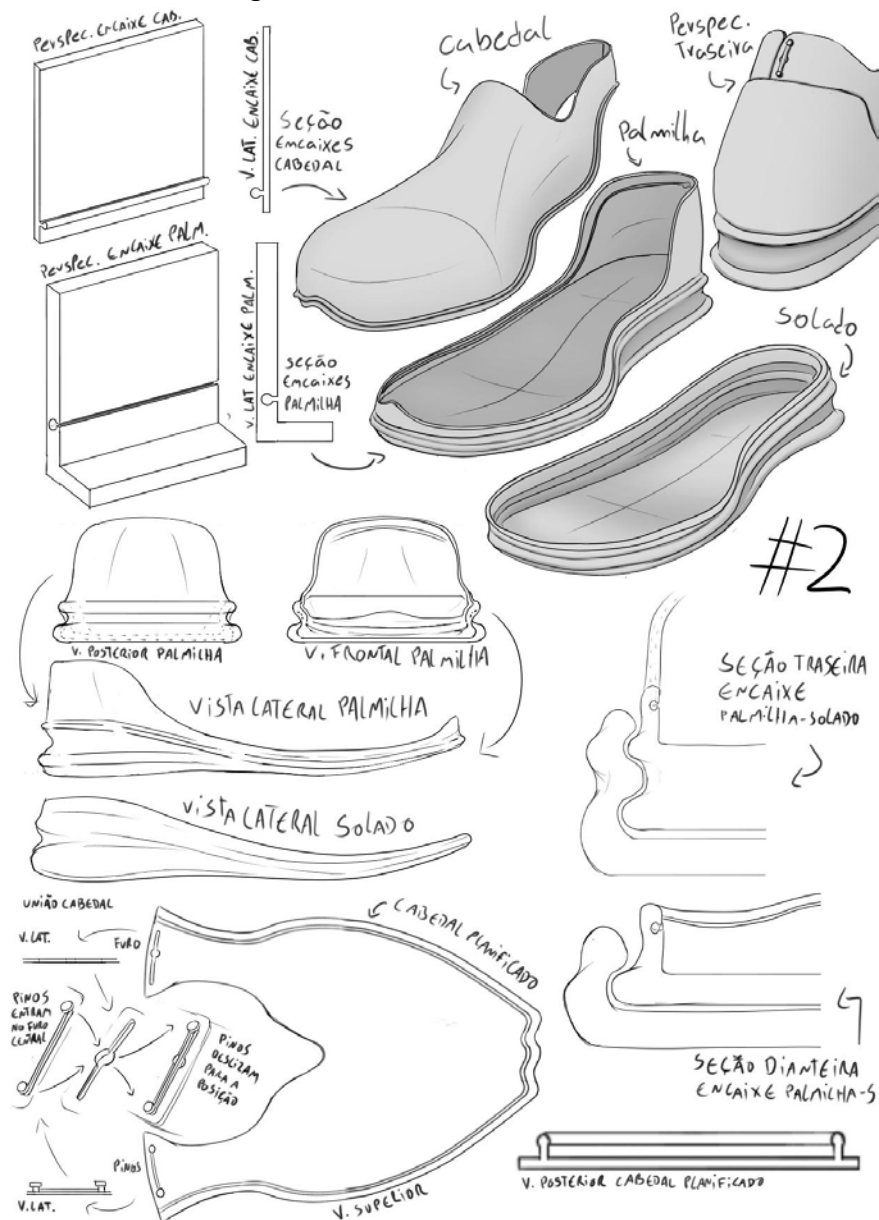
Devido ao formato da palmilha em sua parte anterior, as bordas traseiras do cabedal possuem dimensões relativamente pequenas, podendo ser unidas com poucos pontos de conexão. A referida conexão é mostrada esquematicamente na região inferior à esquerda da figura 80, onde é possível observar uma fenda com um alargamento no centro, semelhante ao utilizado na palmilha.

Como o Cabedal possui uma fina espessura, essa fenda para união o atravessa, sendo tecnicamente um furo. Na outra borda estão posicionados três pequenos pinos com formato semelhante à cabeça de um prego, com base estreita e topo circular mais largo e achatado. Estes pinos atravessam o furo na outra borda pela parte mais larga, o que permite que a base mais fina deslize até às extremidades da fenda, alcançando a posição necessária.

Para unir as bordas do cabedal os dois pinos externos, um de cada vez, devem ser inseridos pelo alargamento central da fenda e, uma vez posicionados, também alocarão o pino central na posição correta. A junção entre o Cabedal, montado sobre a Palmilha, com o Solado, acontece pela interação entre as formas côncavas e convexas presentes nos perfis

laterais da Palmilha e do Solado. Estes formatos podem ser melhor observados no centro à direita da figura 80, onde há duas representações de seções transversais das estruturas unidas, uma da região frontal e outra mais anteriormente localizada. Na seção traseira é possível perceber que a palmilha, nesta região, possui uma espessura maior do que na seção dianteira, possuindo portanto duas saliências convexas separadas por uma superfície côncava, enquanto a dianteira possui apenas a base convexa e topo côncavo. Analisando o solado nessas representações, é possível perceber que este possui um formato interno semelhante, porém, invertido ao da palmilha: na região traseira há duas superfícies côncavas separadas por uma superfície convexa; e na região dianteira há apenas uma superfície côncava, na base, e outra convexa mais ao topo. Assumindo que ambos, Solado e Palmilha, sejam feitos de materiais suficientemente flexíveis, as bordas laterais do solado devem ceder levemente para permitir que a Palmilha seja conectada. Uma vez conectados, o Solado deve retornar ao formato original, impedindo a Palmilha de se deslocar verticalmente, travando a montagem das partes.

Figura 80 - Sistema 2 - Deslizante.



Fonte: elaborado pelo autor.

Solução 3 - Pinos

A última solução de montagem desenvolvida, denominada “Pinos”, é representada na figura 81 e possui cinco partes compondo sua estrutura: Solado; Palmilha; Cabedal; Estrutura Lateral; e Estrutura do Calcanhar. Na parte superior da respectiva figura pode-se observar os cinco componentes sombreados em explosão, textualmente indicados com as denominações descritas anteriormente. O sistema de montagem baseia-se na presença de diversos pinos na face superior do soldado, por meio deles é possível unir todos os cinco componentes. Os referidos pinos foram projetados em dois tamanhos distintos e estão

dispostos na superfície de modo que os maiores encontram-se mais ao centro e os menores mais próximos à borda. Na figura 81, no canto inferior direito, é possível observar os pinos desenhados esquematicamente, ambos caracterizam-se por possuir o topo levemente mais largo do que a base. O disco no topo possui uma espessura, ou altura, menor que as bases e os pinos maiores têm uma proporção um pouco diferente dos menores em relação a altura. Isso deve-se à função dos pinos maiores de comportar as estruturas Lateral e do Calcanhar além das estruturas da Palmilha e do Cabedal, como acontece nos pinos menores. Exceto pelo solado, todas as estruturas foram projetadas para a produção planificada, tendo o cabedal uma espessura mais fina relativamente às outras três: Palmilha, Estrutura Lateral e Estrutura do Calcanhar.

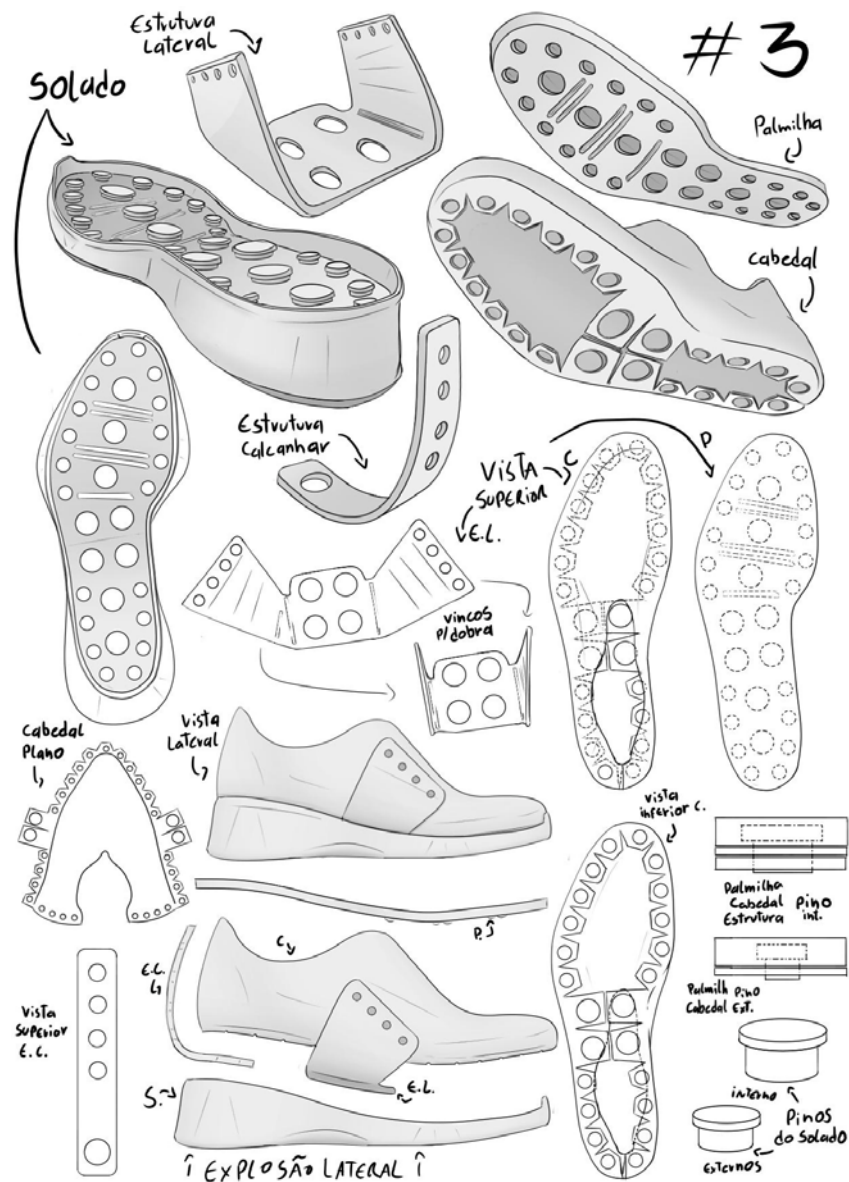
A montagem inicia com o posicionamento das estruturas Lateral e do Calcanhar sobre o Solado e os maiores pinos. A Estrutura do Calcanhar possui um formato retangular alongado básico, com bordas arredondadas, um furo largo e outros quatro mais estreitos. A Estrutura Lateral tem um formato diferenciado, que consiste em uma parte central retangular e duas longas abas laterais com formato angular, que pode ser observado em vista superior no centro da figura 81. A parte retangular possui quatro furos mais largos igualmente separados e, “dividindo” o centro de ambas laterais, foi projetado um vinco rebaixado para capacitar a verticalização das abas após a produção, assumindo que o material seja suficientemente flexível.

Na borda externa de ambas abas há quatro furos menores, presentes apenas para aproximar o sistema projetado de um calçado real, onde se colocariam os cadarços para ajuste. Após o posicionamento das estruturas Lateral e do Calcanhar, o próximo componente adicionado é o cabedal. Seu formato consiste em uma fina lâmina flexível com pequenas abas recortadas em chanfro ao longo de seu contorno lateral, onde também estão presentes, na parte central, abas relativamente maiores e com formato retangular.

As abas maiores possuem furos largos, enquanto as menores possuem furos mais estreitos. Todas estas abas devem ser curvadas em noventa graus para posicionamento nos seus respectivos pinos, presentes no Solado, e os recortes visam facilitar essa deformação. Nas bordas traseiras do cabedal, resultantes do recorte feito em razão da planificação, há duas estruturas que acompanham todo o conceito da solução: em uma borda há quatro pinos, na outra quatro furos. Os pinos são semelhantes aos presentes no solado, porém, têm suas dimensões menores e uma altura suficiente para ultrapassar os furos da borda oposta e

se conectarem à Estrutura do Calcanhar, dando o formato final ao calçado. O último componente a ser adicionado é responsável por travar a montagem dos demais, tapando totalmente os pinos do Solado, criando uma superfície plana sobre ele. Este último componente é a Palmilha, que possui uma silhueta semelhante a do solado, observado de cima, uma superfície inferior repleta de cavidades e a superfície superior plana. As cavidades possuem um espaço negativo capaz de abrigar e travar as partes alargadas do topo dos pinos e, uma vez montado e vestido o calçado, a palmilha será constantemente pressionada contra os pinos aos quais está conectada, fazendo com que seja improvável que a montagem sucumba as forças resultantes do movimento de marcha.

Figura 81 - Sistema 3 - Pinos.



Fonte: elaborado pelo autor.

Ajuste do Cabedal

As soluções para o ajuste do cabedal, presentes na figura 82, foram desenvolvidas com objetivo de conexão das bordas centrais do cabedal planejado após a montagem. As conexões visam a manutenção e/ou composição da forma do calçado montado, permitindo uma limitada mobilidade entre os componentes após união. Esta pequena mobilidade deve fornecer mais conforto ao usuário durante as ações de calce e marcha, tendo em vista que o calçado desenvolvido deve conter um formato muito semelhante ao pé do usuário final. Esta semelhança pode dificultar o calce, mesmo que o material utilizado nos componentes seja flexível e as folgas sejam aplicadas. Por outro lado, significa também que o calçado não precisará se ajustar a diferentes volumes, ou diferentes pés, o que exclui a necessidade de um sistema de ajuste amplo.

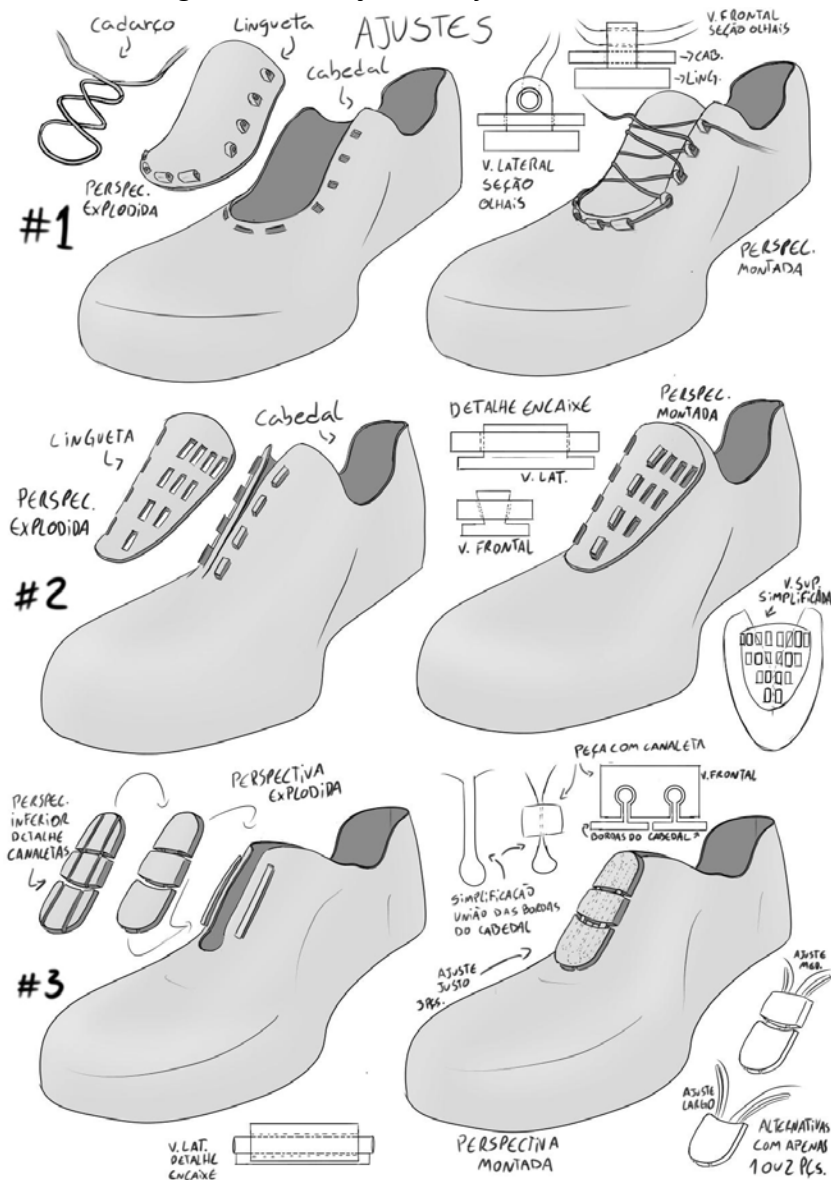
A figura 82 apresenta as três Soluções dispostas horizontalmente, com a numeração respectiva à esquerda, próximo das vistas explodidas, enquanto que à direita, vê-se as perspectivas dos sistemas montados.

A primeira solução de ajuste, apresentada ao topo na figura 82, possui três componentes em sua composição: o Cabedal, a Lingueta e o Cadarço. Na vista explodida da primeira solução é possível perceber a abertura na parte superior e os furos retangulares presentes próximos à borda deste recorte. Com dimensões e posicionamento semelhantes, a lingueta conta com uma série de saliências cilíndricas próximas às suas bordas laterais e inferior. Mais à esquerda da Lingueta é possível observar um fio de cadarço representado de maneira entrelaçada. Os cilindros presentes na face superior da Lingueta estão, indicados como “olhais” esquematizados à direita, sobre a perspectiva montada. Na seção indicada como vista lateral (v. lateral - figura 82) é possível ver que os cilindros possuem furos circulares que os atravessam de lado a lado e que estão posicionados a uma altura suficiente para ultrapassar a espessura do cabedal. Na vista frontal é perceptível que os olhais são atravessados por fios, que representam o cadarço. Com isso, o cadarço fará o papel de travar a união dos componentes, impedindo que os olhais da Lingueta escapem pelos furos da borda do Cabedal.

A segunda solução, como pode ser observado no centro à esquerda da figura 82, está representada em vista explodida e possui apenas dois componentes: Cabedal e Lingueta. A Lingueta possui uma espessura relativamente fina e oito furos retangulares localizados próximos a sua linha central longitudinal, dispostos em duas colunas. Conforme os furos se

aproximam da borda superior da lingueta, passam a ser acompanhados de outros furos, alinhados a eles horizontalmente e posicionados entre as bordas laterais e os furos centrais. A quantidade de furos por linha aumenta na proporção de um por linha: a primeira tem apenas um; enquanto a última possui quatro furos; como pode ser visto na figura 82. O cabedal desta solução de montagem é projetado com uma abertura em “V” na região do dorso do pé, este formato permite que as laterais do cabedal trabalhem de maneira independente até o ponto de flexão dos dedos do calçado. Próximo às bordas desse corte, pode-se notar a presença de saliências retangulares com dimensões semelhantes às dos furos na lingueta, dispostas em uma fileira de quatro para cada borda. No detalhe esquemático presente sobre a perspectiva explodida da segunda solução (figura 82) é possível observar que as saliências no cabedal possuem um formato chanfrado invertido, que são acompanhados pelos furos da Lingueta, tendo, portanto, a base mais estreita que o topo. As formas retangulares presentes na borda do cabedal se alojam nos furos da lingueta e, para as estruturas localizadas mais acima, há mais de uma possibilidade de furo para encaixar. Essa variedade de furos, em conjunto com a divisão entre as bordas do cabedal, faz com que esta solução seja ajustável em largura na região do dorso do pé.

Figura 82 - Soluções de ajuste do cabedal



Fonte: elaborado pelo autor.

A última solução de ajuste do cabedal mostrada na base Figura 82 apresenta um sistema com dois componentes, sendo um deles dividido em três partes. Na vista explodida é possível observar os componentes isolados, sendo os três componentes citados representados em duas orientações com rotação de cento e oitenta graus em relação a um eixo longitudinal. Portanto é possível observar o topo e a base dos componentes desenvolvidos, evidenciando o detalhe da presença de “canaletas” em todas as três. Ainda na vista explodida, é possível observar que o recorte da abertura do cabedal possui uma estrutura alongada próximo a borda, semelhante a um corrimão. Este formato citado fica mais evidente no detalhe esquemático presente sobre perspectiva montada, na parte direita

da representação, onde vê-se uma seção frontal ampliada de um dos componentes com as duas estruturas das bordas do cabedal inseridas nele. No mesmo detalhe é possível analisar que o formato do “Corrimão” consiste em uma base mais estreita que o topo, que é circular e mais largo, este formato, conseqüentemente, se repete de maneira invertida no interior das canaletas. Este sistema apresenta uma variação de ajuste de largura, devido ao fato de que as peças com as canaletas podem ser utilizadas apenas na quantidade desejada, deixando a abertura no dorso mais larga ou mais justa.

Testes de impressão

A partir dos esboços de soluções, de montagens e ajustes, foram desenvolvidos modelos funcionais simplificados para testar as características dos componentes produzidos a partir da impressão 3D. Considerando que este projeto foi concebido como etapa de finalização da graduação em Design, na Universidade Federal de Santa Catarina, utilizou-se dos recursos disponíveis no laboratório Pronto 3D, vinculado à instituição. O laboratório conta com diferentes métodos de fabricação digital além da tecnologia selecionada para o referido projeto.

O método selecionado, portanto, foi o de impressão 3D chamado de *FDM*, apresentado anteriormente no item “Manufatura Aditiva”, que basicamente consiste na deposição e sobreposição de camadas de filamento polimérico fundido. Este método produtivo considerado aditivo, traz consigo as vantagens de economizar recursos e facilitar a personalização ou alteração dos projetos, visto que a matéria prima excedente de uma produção otimizada tende a ser muito reduzida e os componentes não necessitam de formas para produção, podendo ser alterados digitalmente entre uma unidade e outra. (PUPO, 2021)

Em outra via, há também limitações inerentes a este tipo de fabricação que devem ser mencionadas. Entre as limitações do método de impressão *FDM* podem ser citados: o acabamento; a reprodução de formas demasiadamente complexas; as características mecânicas das peças produzidas; a suscetibilidade a falhas durante a produção; o tempo de produção; e a onerosidade.

Portanto, a otimização durante a concepção das peças torna-se imprescindível, podendo reduzir significativamente as limitações da técnica de impressão por deposição de camadas. A otimização permite um acabamento mais refinado à medida que evita a

utilização de suportes durante a impressão e reduz-se consideravelmente o tempo desta, levando a uma economia de recursos e uma redução da suscetibilidade ao erro durante o processo.

Outros fatores que demandam otimização para a redução das limitações da impressão *FDM* são devidos à variação das características mecânicas entre: os filamentos utilizados; os padrões de preenchimento disponíveis no *software* que converte os dados para a impressora; e outras configurações que podem ser feitas neste mesmo software, como a quantidade de camadas laterais, velocidade de deslocamento do bico, temperatura de fusão etc.

O autor demandou de auxílio para utilizar os processos de fabricação digital disponíveis no Laboratório Pronto 3D da UFSC, auxílio este fornecido pelo bolsista do laboratório, a quem foram enviados os arquivos modelados para a preparação e impressão dos testes durante as etapas de Desenvolvimento e Entrega deste PCC. Esta interação com o bolsista do laboratório foi importante para facilitar as etapas de testes, visto que ele possui um conhecimento mais profundo dos procedimentos de fabricação digital e dos equipamentos do laboratório, porém, há de se considerar que esta fase demandava da disponibilidade do bolsista durante o período em que se encontrava no laboratório, o que alongou um pouco esta etapa de testes de impressão.

- *Impressoras*

A impressora utilizada para produção dos modelos de teste deste projeto, disponível no Lab Pronto 3D, é do modelo Aip, da marca Sethi3D. Este modelo possui uma área de impressão reduzida, em relação ao outro modelo disponível no laboratório, denominado S3, da mesma marca. Inicialmente a escolha por deste modelo deveu-se a característica aberta de sua estrutura, pois os testes para impressão com inserção de têxteis demandaram a utilização de grampos que não poderiam ser utilizados e/ou manejados dentro da estrutura de caixa do modelo S3. Contudo, os demais testes continuaram a ser imprimidos no modelo Aip, visto que foram modelados em escala e não necessitavam de uma área de impressão maior. Vale ressaltar que o modelo Aip, utilizado nos testes, não é considerado ideal para a impressão 3D utilizando filamento flexível. Segundo o site da empresa Sethi3D (2018), os materiais suportados pelo modelo são apenas ABS e PLA, que não têm características de flexibilidade. Apesar desta incompatibilidade, os testes mostraram-se satisfatoriamente

úteis e, na opinião do autor, auxiliaram na otimização da modelagem e impressão do protótipo final, que será mostrado no item 4 da metodologia projetual, denominada Entregar. Os detalhes de ambos modelos de impressora da marca Sethi3D, disponíveis no Lab Pronto 3D UFSC, são apresentados a seguir.

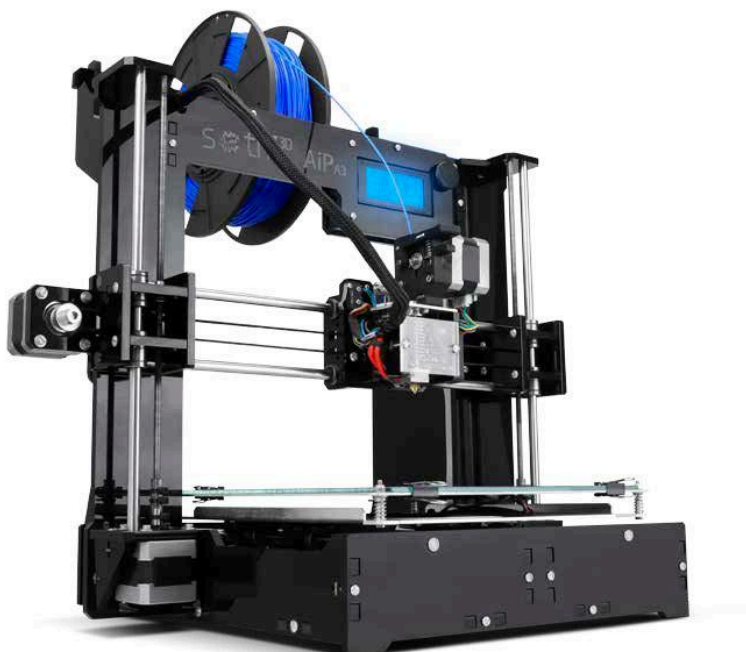
Sethi3D AIP

Especificações técnicas:

- Área de impressão: (220mm x 210mm x 200mm);
 - Conexão *USB (Universal Serial Bus)*;
 - Alimentação 110/220v;
 - Mesa Aquecida;
 - Dimensões aproximadas.: 40cm x 35cm x 40cm;
 - Peso aproximado.: 12Kg;
 - Materiais: ABS ou PLA;
- (Sethi3D, 2018)

A figura 83 apresenta a impressora Sethi3D AIP.

Figura 83: Impressora *FDM* Sethi3D AIP



Fonte : SETHI3D, 2018

Sethi3D S3

Especificações técnicas:

- Área de impressão: 270 x 270 x 320mm (23.3 Litros);
- Conexão *USB*;
- Módulo de *LCD (Liquid Crystal Display)* integrado;
- Ajuste automático de altura;
- Entrada para cartão de memória;
- Alimentação 110 / 220V (Volts);
- Mesa Aquecida de Alumínio;
- Dimensões aproximadas com rolo de filamento: 49,6cm x 59cm x 60,4cm;
- Peso aproximado: 17 Kg;
- Materiais: ABS, PLA, Flexível, PETG, e outros.

(Sethi3D, 2023)

A figura 84 apresenta a impressora Sethi3D S3.

Figura 84: Impressora FDM Sethi3D S3

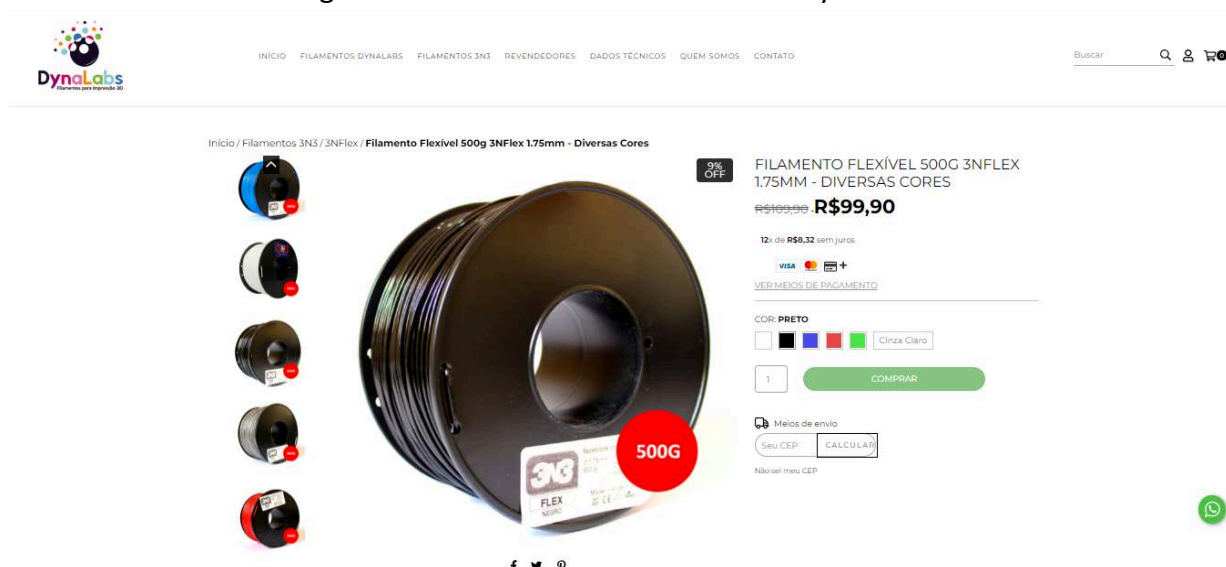


Fonte: SETHI3D, 2023

- Filamento

O filamento adquirido e utilizado para a produção dos testes de impressão e montagem do projeto foi o 3NFlex (TPU) preto, da marca 3N3 fabricado pela empresa Dynalabs, presente na figura 85. Durante a investigação sobre os filamentos flexíveis disponíveis no mercado e que se assemelham mais aos materiais utilizados majoritariamente nas solas dos calçados da indústria tradicional, encontrou-se uma variedade de marcas que comercializam este tipo de filamento, diferindo-se principalmente pela quantidade, pelas cores e, principalmente, pela dureza, onde há até uma variação no sistema de escala utilizado para mensurar esta característica do polímero. Enquanto algumas marcas e materiais são avaliados pela escala Shore D, outros apresentam avaliação quanto a dureza, classificados pela escala Shore A. Portanto, diante do pouco conhecimento prático do autor com os processos e materiais inerentes à tecnologia de impressão 3D e da grande variedade de materiais disponíveis no mercado, foi solicitado o auxílio, novamente, do bolsista do Lab Pronto 3D UFSC, onde este indicou marcas confiáveis para adquirir filamentos on-line e também um varejista da região do qual já havia adquirido materiais anteriormente. Os materiais foram difíceis de avaliar através dos meios digitais, devido principalmente à variação quanto a escala de dureza utilizada, mas o que observa-se é uma maior disponibilidade dos filamentos flexíveis de TPU com as durezas classificadas como 95A e 60D de dureza shore. Outras variações de dureza, além de mais escassas, mostraram-se mais caras e poderiam complicar o processo de impressão, devido à necessidade de uma configuração muito específica no *software* de fatiamento pré impressão. Isso justificou a escolha do filamento 3NFlex, disponível a pronta entrega no varejista indicado pelo bolsista do Lab Pronto 3D UFSC, o qual possuía apenas opções nas cores preto ou branco, para a produção dos testes e também para o protótipo. As características do filamento adquirido serão apresentadas na sequência, baseado nas informações disponíveis no site da empresa Dynalabs (2023a).

Figura 85: Filamento 3NFlex no site da Dynalabs



Fonte: DYNALABS, 2023a.

- Ferramentas (Softwares)

Para a realização dos testes impressos em 3D, o autor utilizou majoritariamente os softwares Rhinoceros 3D 7 (versão de avaliação) e UltimakerCura 5.4.0. O primeiro foi utilizado para a etapa de modelagem tridimensional dos componentes, enquanto o segundo foi utilizado para a preparação/fatiamento dos modelos para a impressão em *FDM*. De início as etapas de preparação no software UltimakerCura foram desenvolvidas exclusivamente pelo bolsista do Lab Pronto UFSC em auxílio ao autor. Com o avanço do processo de testagem o autor sentiu a necessidade de utilizar o software para obter uma visualização mais precisa do processo de impressão como previsão do tempo de impressão do modelo, peso, quantidade de camadas etc. Ambos softwares serão fundamentais para a concepção deste PCC, o que torna necessário uma breve introdução a respeito de seus princípios de utilização.

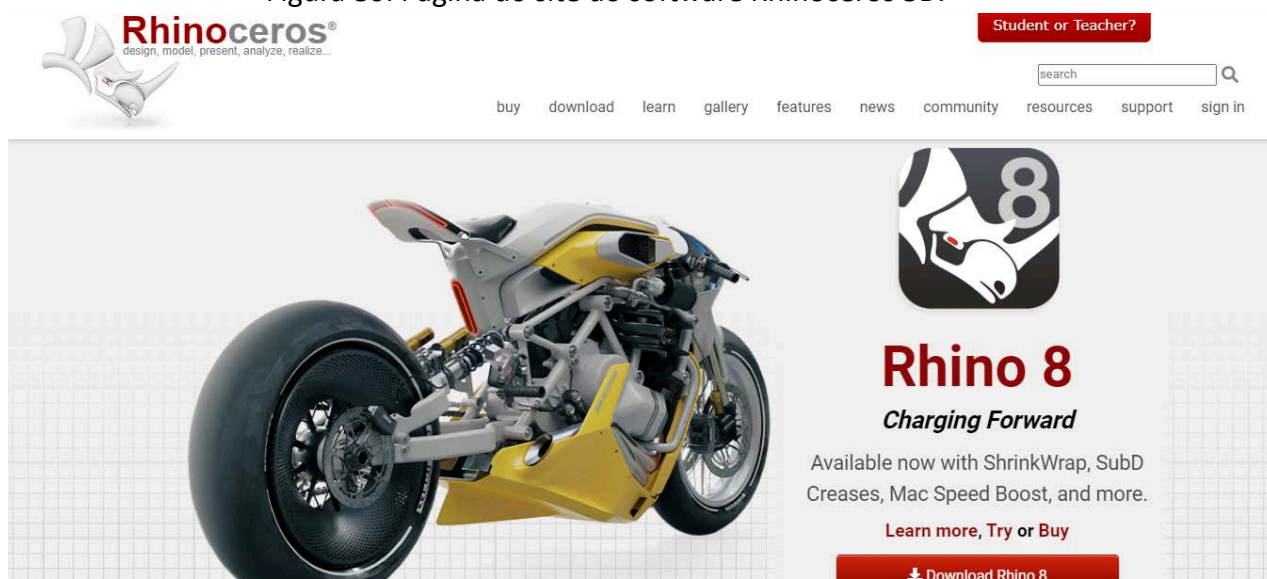
Rhinoceros 3D 7

O software desenvolvido pela empresa McNeel, intitulado Rhinoceros 3D, atualmente na versão 8, é um software comercial de modelagem 3D comumente usado em diferentes áreas, como arquitetura e design. Segundo o manual do usuário, disponível na aba "aprender" no site da empresa McNeel, o software Rhinoceros 3D é primordialmente um software de modelagem de superfícies com muitos recursos (RHINOCEROS, 2023). No site da empresa há uma seção de links de páginas oficiais nas redes sociais e no grupo do

LinkedIn, para onde um dos *links* redireciona, a descrição do *software* consta como uma ferramenta não-paramétrica de modelagem *NURBS* (Rhinoceros, 2023). As referidas “*NURBS*” são uma sigla em inglês que significa “*Non-Uniform Rational B-Splines*” (sem tradução). De acordo com o explanado no manual do usuário (RHINOCEROS, 2023), “*NURBS*” são representações matemáticas capazes de modelar complexos sólidos e superfícies 3D precisamente a partir de curvas em duas dimensões. O manual ainda explica que os objetos geométricos fundamentais no Rhinoceros são: “pontos, curvas, superfícies, polisuperfícies, sólidos, objetos de extrusão leve e malhas.” Os valores para aquisição da licença completa do *software* Rhinoceros variam entre cento e noventa e cinco Dólares americanos e quarenta e nove mil setecentos e cinquenta Dólares americanos, referentes às licenças educacional para um único usuário e comercial para até cinquenta usuários, respectivamente (Valores para o Brasil, acesso em Maio de 2024). (RHINOCEROS, 2023)

A figura 86 mostra a página inicial do site da desenvolvedora do software Rhinoceros: McNeel.

Figura 86: Página do site do software Rhinoceros 3D.



Fonte: RHINOCEROS, 2023.

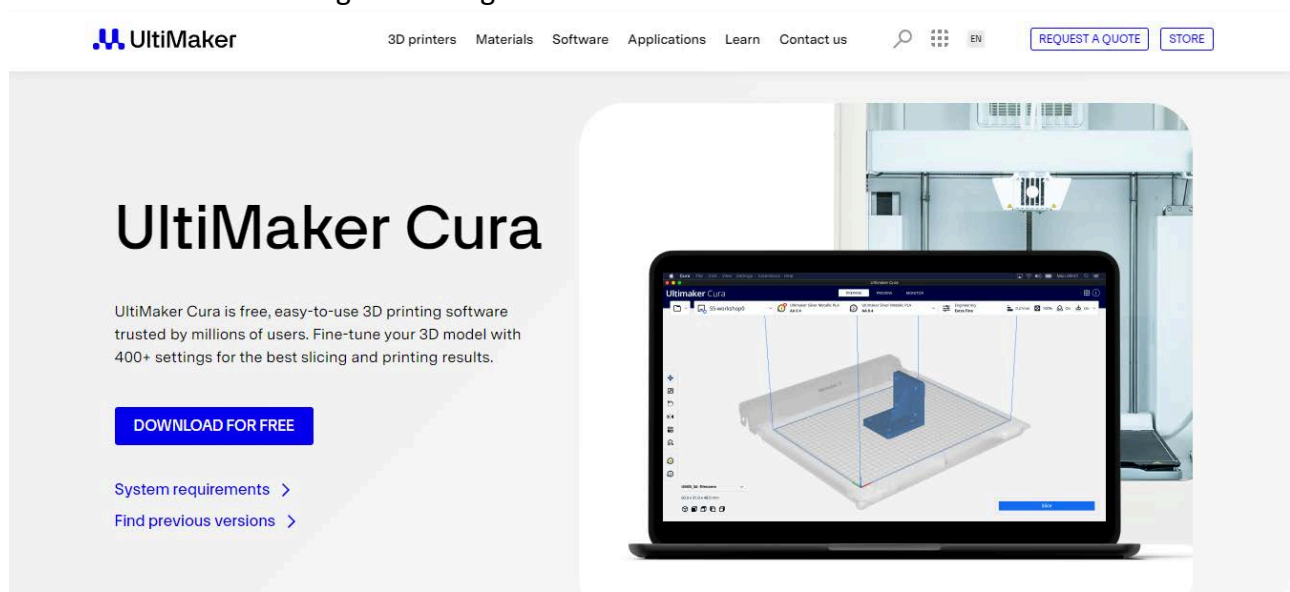
Ultimaker Cura

O *software* UltiMaker Cura, da empresa UltiMaker, está definido no site institucional como um *software* de impressão 3D gratuito e fácil de usar com mais de quatrocentas configurações de fatiamento e impressão (Ultimaker, 2023). O *software* conta com bibliotecas de perfis para diferentes materiais e impressoras compatíveis com as principais

marcas e fabricantes do mercado, sendo possível obter configurações otimizadas de impressão para materiais e máquinas específicas sem muito esforço. Com as configurações definidas, o *software* demonstra em detalhes a impressão por camadas, bem como o tempo e o material gastos no processo.

A figura 87 mostra a página inicial do site do software UltiMaker Cura.

Figura 87: Página da site do software UltiMaker Cura



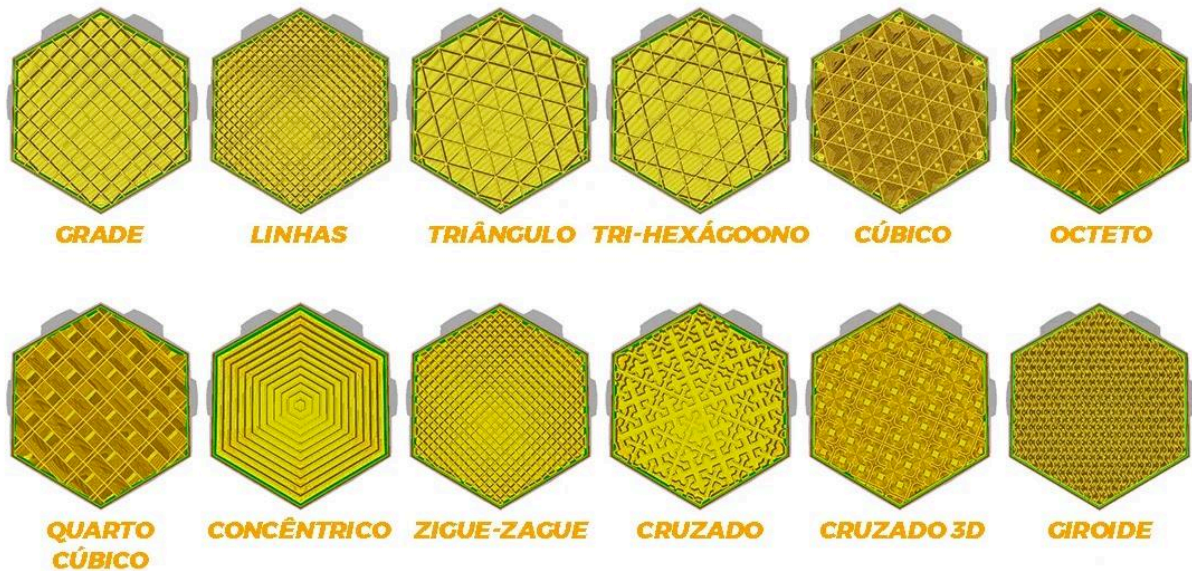
Fonte: Ultimaker, 2023

Preenchimentos no Ultimaker Cura

Uma das configurações chave no UltiMakerCura para impressões em *FDM* são os tipos de preenchimento, ou *infill* em inglês, dos objetos “sólidos”. Este parâmetro é definido durante o fatiamento da peça e, de acordo com o blog 3D Lab (2021), influencia diretamente no resultado final da impressão. O *software* possui mais de uma dúzia de variações de preenchimento e para cada uma delas é possível configurar a densidade do preenchimento em percentual, sendo zero equivalente a uma peça oca e cem por cento resulta em uma peça maciça. O blog 3D Lab (2021) apresenta os treze padrões de preenchimento disponíveis no *software* Ultimaker Cura na versão 4.9 que são mostrados na figura 88 (com exceção do padrão “Subdivisão Cúbica”). O autor do artigo (3D LAB, 2021) classifica as impressões 3D em quatro tipos e indica os melhores padrões de preenchimento para cada uma, as impressões são classificadas em Baixa, Média e Alta resistência; e impressões flexíveis. Como o calçado desenvolvido neste PCC demanda flexibilidade do componente impresso em 3D e

o filamento escolhido é o TPU (3NFlex), a seção do artigo com a classificação de impressão flexível foi a que recebeu mais atenção. Os padrões indicados no artigo para a impressão flexível são: Cruzado; Cruzado 3D; e Concêntrico.

Figura 88: Padrões de Preenchimento do Ultimaker Cura



Fonte: 3D LAB, 2021.

- Modelos Teste

Os modelos elaborados pelo autor com o intuito de testar as possibilidades e os resultados da impressão 3D em *FDM* estão presentes neste item em duas partes: Cabedal e Montagem. Para o cabedal os principais objetivos eram criar uma lâmina de TPU tão fina quanto fosse possível, capaz de transpirar e resistir a moderada tração/torção. Foram elaborados diferentes modelos com adição ou não de outro material, alguns com contornos semelhantes a um cabedal planificado. Para as soluções de montagem foram elaborados três modelos com duas ou três partes cada. Estes modelos têm como objetivo reproduzir em escala reduzida os sistemas de montagem idealizados pelo autor, responsáveis pela união entre o cabedal e o solado do calçado a ser desenvolvido. Com formatos ovais muito semelhantes, cada peça foi configurada com diferentes padrões e densidade de preenchimento, permitindo comparar a influência de diferentes configurações de impressão no comportamento e características do resultado final.

Cabedal

Dentre os testes realizados para a produção do cabedal, o autor classificou os resultados em três categorias: Modelado; Preenchimento; e Têxtil. O cabedal modelado refere-se a reprodução de finas superfícies em formato de grade sustentadas por superfícies levemente mais espessas (Figura 89 - a).

Figura 89: Testes de produção do Cabedal.



Fonte: elaborado pelo autor. a) modelado; b) preenchimento; c) têxtil

O cabedal produzido a partir do preenchimento do *software* de fatiamento diz respeito a uma peça com espessura próxima a um milímetro que, durante o processo de

fatiamento, configura-se a impressora para não cobrir as superfícies superiores e inferiores do exterior da peça. Este recurso deixa exposto apenas o padrão de preenchimento interno e as superfícies laterais (Figura 89 - b). O cabedal intitulado “Têxtil” foi produzido com a adição de têxteis naturais e sintéticos entre as camadas de impressão. O autor modelou uma estrutura de grade com largos espaços vazados que foram preenchidos com o tecido adicionado. A figura 89 - c apresenta o resultado da adição de têxtil natural (algodão) entre as camadas de impressão.

Montagem

Os três testes de montagem realizados pelo autor foram denominados como “Abas”, “Deslizante” e “Pinos”. As denominações fazem referência aos princípios de união utilizados em cada um e foram criadas apenas para identificação dos testes durante as ponderações. A figura 90 apresenta os três sistemas com suas peças separadas. Na parte superior da figura - 90 (a) - está o sistema de montagem com abas e os componentes que representam o cabedal e a palmilha estão unidos, posicionados ao lado do componente que representa o solado.

A figura 90 (b) mostra o sistema intitulado “Deslizante” com seus dois componentes separados, palmilha e solado. O cabedal para este sistema de montagem, que é o componente que “desliza” de fato, foi transferido para o sistema “Pinos”, devido a espessura da palmilha modelada no sistema Deslizante e a desnecessidade do cabedal idealizado para o sistema de Pinos.

Na última parte da figura 90 está posicionado sistema de Pinos (Figura 90 - c) com seus dois componentes desunidos. A peça que representa a palmilha está à direita da figura 90 (c) com sua face inferior voltada para cima, expondo os furos arredondados com dimensões próximas aos pinos presentes na base do componente que representa o solado, mostrado à esquerda. Para este sistema de montagem, o cabedal idealizado não foi reproduzido e a peça recebeu uma pequena modificação para comportar o cabedal do sistema “Deslizante”. A ausência de cabedal neste teste deve-se ao fato de que o sistema de encaixe é muito semelhante ao utilizado no cabedal do sistema “Abas”, com diferença apenas no formato dos furos e a direção dos mecanismos de trava, sendo as abas na horizontal e os pinos na vertical.

Figura 90: Soluções de Montagem



Fonte: elaborado pelo autor. a) abas; b) deslizante; c) pinos.

- *Matriz de Decisão*

A matriz de decisão visa avaliar qualitativa e quantitativamente as possíveis soluções propostas para encontrar a que melhor preenche os requisitos do projeto. Segundo Pazmino (2010b) esta é uma técnica eficiente para a comparação de conceitos, fornecendo uma maneira de mensurar e ponderar as capacidades de cada alternativa desenvolvida. Foram desenvolvidas cinco matrizes para decidir a melhor opção entre: Soluções de montagem (Tabela 1); Padrão de Preenchimento de Sola e Palmilha (Tabela 2); Soluções de Produção do Cabedal (Tabela 3); Soluções de União das bordas do Cabedal (Tabela 4); e Padrão de

Preenchimento do Cabedal (Tabela 5). Para cada matriz foram definidos entre três e quatro atributos que representam um ou mais Requisitos de Projeto relevantes para esta etapa de testes, como os tópicos funcional e estrutural, expostos anteriormente no quadro 2. As avaliações qualitativas foram mensuradas em uma escala de um a cinco, sendo 1 (um) a pior avaliação e 5 (cinco) a melhor. Nas avaliações quantitativas a tabela apresenta os números referentes a quantidade, nessas, para facilitar a compreensão, foi inserido a abreviação de Número (Nº) entre parênteses após a nomenclatura dos quesitos correspondentes.

O quesito denominado “Montagem/Desmontagem”, apresentado nas tabelas 1 e 3, tem a intenção de avaliar o nível de complexidade para a tarefa de montagem do calçado, levando em consideração a quantidade de encaixes necessários e a pressão necessária para conseguir unir ou separar os componentes. O quesito “Estabilidade”, presente em todas as tabelas de 1 a 5, visa avaliar a tendência dos componentes a se manterem unidos após a montagem, considerando forças em diferentes direções que podem levar a desmontagem imprevista do calçado desenvolvido durante o uso. O quesito “Componentes”, inserido nas tabelas 1 e 4, indica a quantidade de componentes necessários para a produção e montagem da solução. O quesito denominado “Impressão”, presente em todas as tabelas de 1 a 5, avalia o processo de impressão em 3D dos componentes, considerando a utilização de suportes e as falhas apresentadas durante esta etapa de testes decorrentes da modelagem com dimensões incompatíveis com as capacidades de reprodução da impressora disponível. O quesito “Transpiração”, apresentado apenas na Tabela 2, visa avaliar a capacidade de transpiração do Cabedal desenvolvido, ou seja, a circulação de ar através da lâmina de TPU impressa em 3D. O quesito “Aparência”, presente somente na Tabela 5, objetiva avaliar esteticamente o “tecido 3D” produzido com a utilização dos padrões de preenchimento disponíveis no software de preparação da modelagem para a impressão. Vale ressaltar que todos os testes e, portanto, todas as matrizes de decisão, foram desenvolvidos e julgados exclusivamente pelo autor e com finalidade apenas de execução deste PCC, não possuindo valores técnicos específicos como densidade, força etc.

Soluções de Montagem Cabedal e Solado

1 - Abas

O primeiro sistema de montagem, chamado Abas, tem seus três componentes apresentados na figura 91: Solado, Palmilha e Cabedal. Neste teste a peça que representa a

palmilha possui oito abas em sua face mais estreita (lateral). Estas abas são envolvidas pelo cabedal, que consiste em uma fina lâmina de tecido com furos de dimensões aproximadas às das abas. Da mesma forma, com dimensões aproximadas às das abas, o solado possui oito furos ao longo de toda a sua lateral, que comportam e travam as abas presentes na palmilha após encaixe, unindo os três componentes. O padrão de preenchimento utilizado para as peças do solado e palmilha foi o Cruzado 3D com densidade de trinta por cento. Para o cabedal foi utilizado o padrão em linhas com densidade de quarenta por cento e sem as camadas superiores e inferiores, porém, houve um erro, causado pela modelagem com furos muito pequenos, que fez com que a superfície impressa se tornasse totalmente coberta e encrespada, como pode ser visto na parte superior esquerda da figura 91. Visto que a parte funcional do teste foi considerada suficiente, o autor não julgou necessário refazer a impressão deste componente de teste.

Figura 91: Solução de Montagem 1 - Abas



Fonte: elaborado pelo autor.

2 - Deslizante

O sistema de montagem, denominado “Deslizante”, está apresentado em detalhes na figura 92 e possui apenas dois componentes: Solado e cabedal, ambos impressos com preenchimento concêntrico e densidade de trinta por cento. O princípio de encaixe entre a

palmilha e o solado consiste em um perfil de palmilha com a base côncava mais larga que o centro, que é convexo, e o topo também côncavo com a largura equivalente a metade da base. Um formato semelhante, porém invertido, foi utilizado para o perfil da parte interna do solado, fazendo com que a interação entre as superfícies côncavas e convexas opostas travem o componente da palmilha dentro do solado. Para o encaixe do cabedal idealizado para este teste o solado deveria sofrer alterações que, para o intuito de testes, alterariam as características do componente, tornando a análise dos resultados menos precisa. Este sistema de união do cabedal foi transferido pelo autor para o terceiro modelo de teste (Pinos) que será demonstrado na sequência deste.

Figura 92: Solução de Montagem 2 - Deslizante



Fonte: elaborado pelo autor.

3 - Pinos

O teste para o sistema de montagem intitulado “Pinos” encontra-se na figura 93 e contém três componentes: Solado, Palmilha e Cabedal. O princípio de encaixe entre o solado e a palmilha deste teste consiste em uma série de pinos arredondados presentes na face superior do solado. O padrão de disposição dos pinos é repetido na palmilha, porém contém furos de dimensões semelhantes que servem para abrigar os pinos do solado. Cada pino do solado possui uma leve saliência arredondada no topo de seu perfil e cada furo da palmilha

possui um espaço negativo equivalente, fazendo com que, após o encaixe, as partes permaneçam unidas, resistindo à tração. O cabedal para este teste não foi reproduzido, mas foi idealizado como uma fina lâmina impressa (semelhante ao presente no teste “Abas”) com furos redondos de dimensões semelhantes a base dos pinos, utilizando o perfil dos pinos e a própria pressão sobre a palmilha como trava.

Como descrito no teste anterior (2- Deslizante), o cabedal que aparece junto ao teste “Pinos” pertence ao outro sistema de montagem “Deslizante”.

Figura 93: Solução de Montagem 3 - Pinos



Fonte: elaborado pelo autor.

O princípio de união deste teste de cabedal ao solado consiste na presença de uma estrutura perpendicular à lâmina do cabedal ao longo de seus contornos, com perfil semelhante ao formato da cabeça de um prego ou parafuso. Esta estrutura no cabedal é acoplada ao solado, que possui um perfil negativo inverso equivalente ao longo de sua lateral interna, com uma única região diferenciada, responsável pela primeira entrada da estrutura presente no cabedal ao solado. Retornando a comparação com o formato de pregos e parafusos, o perfil mais estreito da base da estrutura no cabedal, comparável ao corpo do parafuso, desliza pela fenda negativa equivalente no solado, enquanto que a parte mais larga também desliza um pouco mais internamente. Esta diferença na largura dos perfis

faz com que, uma vez inserido o cabedal na fenda da sola através da entrada alargada, seja muito improvável a desconexão dos componentes por tração, especialmente no sentido vertical. No sentido horizontal, a presença da palmilha deve pressionar o cabedal contra o solado, minimizando a probabilidade da conexão ser desfeita devido a tração horizontal.

A matriz de decisão para o sistema de montagem utilizado no projeto é apresentada na tabela 1, contendo as três alternativas desenvolvidas pelo autor, exibidas e percorridas anteriormente: 1- Abas, 2- Deslizante e 3- Pinos. Para esta decisão, cada uma das alternativas foi avaliada nos quesitos Montagem/Desmontagem; Estabilidade; Componentes; e Impressão. Considerações mais detalhadas sobre os fatores que influenciam em cada quesito foram introduzidas no início do item referente às matrizes decisórias.

Tabela 1: Matriz de Decisão - Sistemas de Montagem

SOLUÇÃO	MONTAGEM/ DESMONTAGEM	ESTABILIDADE	COMPONENTES (Nº)	IMPRESSÃO
1 - Abas	3	4	3	4
2 - Deslizante	4	5	3	4
3 - Pinos	2	3	3	4

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: Valores referenciais qualitativos: 1 - pior avaliação; 5 - melhor avaliação.

Conclusões

A Solução 2- Deslizante mostrou o melhor desempenho entre as três, superando ou igualando em todos os quesitos avaliados. Sua ótima estabilidade chegou a dificultar a desmontagem, mas a montagem mostrou-se prática. Quanto a impressão o resultado desta solução foi satisfatório, porém, o método de preenchimento utilizado, avaliado em matriz posterior, comprometeu o desempenho em relação a coesão da peça quando submetida a flexão ou tração. Vale ressaltar que este modelo de teste não possui conexão com o cabedal, o que provavelmente reduziria sua vantagem em relação aos demais.

A alternativa 1- Abas apresentou bom desempenho no quesito estabilidade, um pouco abaixo da avaliação máxima por conta do afastamento das laterais do solado quando o sistema é flexionado. Esta alternativa mostrou potencial em relação a montagem e

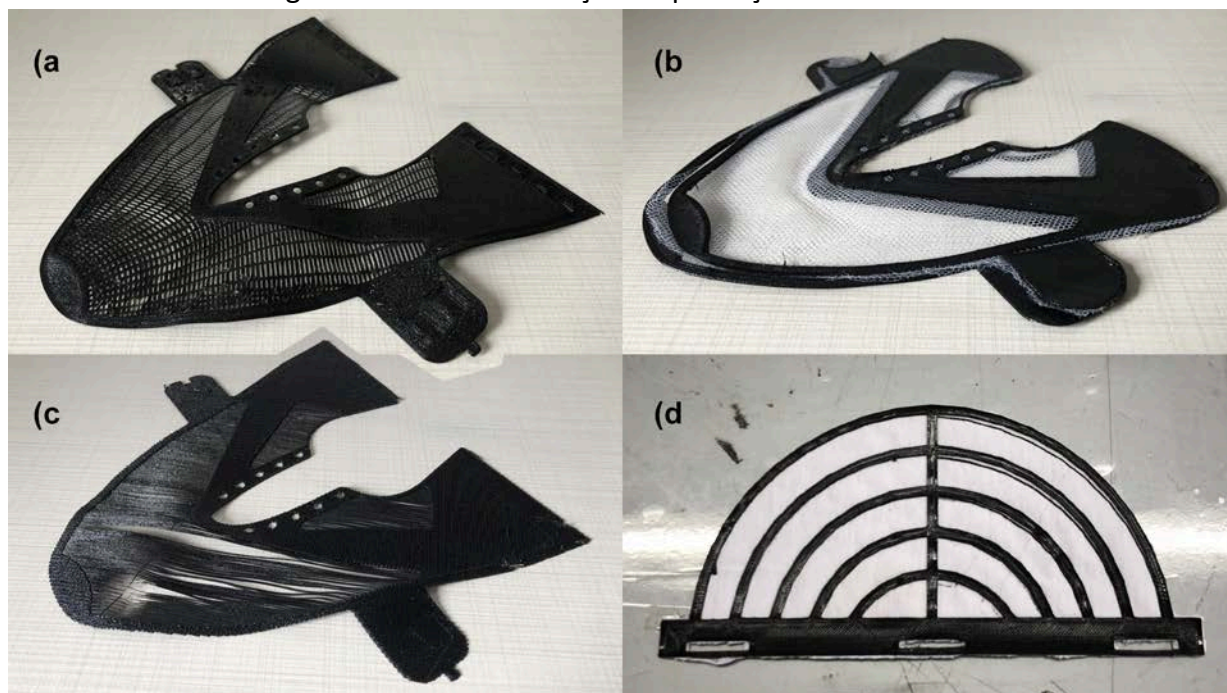
desmontagem, devido a facilidade de acoplamento do cabedal as abas, porém com abas consideravelmente finas e furos no solado quase igualmente estreitos, a conexão entre a palmilha e o solado torna-se uma tarefa minuciosa e, até certo ponto, desgastante. A impressão deste teste foi considerada boa, atrapalhada principalmente pelos furos do solado demasiadamente estreitos, onde algumas “rebarbas” de impressão tiveram sua retirada dificultada.

A solução 3- Pinos teve o pior desempenho entre todas, no quesito montagem a nota foi a mais baixa de toda a tabela, muito por conta do verdadeiro desafio que foi encaixar os pinos nos furos. Os pinos maiores e os com formato diferente do redondo até puderam ser encaixados e resultaram em uma estabilidade satisfatória, mas os pinos menores só encaixaram com muito custo e alguns nem encaixaram. Modificações nas dimensões dos perfis de pinos e furos podem contribuir para a melhoria da eficiência deste método de montagem, porém, com os furos voltados para baixo, a não visualização dos encaixes sob a palmilha desencoraja o dispêndio de esforços nesta alternativa. Em relação a impressão, a avaliação foi positiva, comprometida apenas pelo fato dos pequenos pinos resultarem em uma impressão distorcida e com “sobras” em excesso.

Solução de produção do Cabedal

Os testes para a produção do cabedal, elaborados pelo autor deste PCC, estão apresentados na figura 94. A figura mostra quatro peças produzidas por impressão 3D posicionadas uma em cada canto da imagem: No primeiro quadrante (a) está posicionado o modelo intitulado “Modelado”; no segundo quadrante (b) está o “Têxtil sintético” com adição de têxtil sintético; No terceiro quadrante (c) está o teste de produção do cabedal denominado de “Preenchimento”; e no quarto quadrante (d) vê-se o teste também chamado “Têxtil”, com adição de têxtil natural. Com exceção do teste com têxtil natural, todos os testes foram modelados em formato semelhante ao de um cabedal genérico planificado, simétrico e em escala reduzida. Nestes testes as estruturas com a superfície tapada mantiveram-se inalteradas e no teste “Preenchimento” não possuem camadas inferiores e superiores.

Figura 94: Testes de solução de produção do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor. a) modelado; b) têxtil sintético; c) preenchimento; d) têxtil

Nota-se que os testes “Têxtil sintético” (b), e “Preenchimento” (c) resultaram em componentes visivelmente defeituosos que mesmo assim se mostraram relevantes para análise.

O erro no Cabedal Têxtil com tecido sintético deveu-se a um deslocamento da superfície de impressão no momento de adicionar o têxtil sintético, já que com a impressão pausada a mesa de impressão não se encontrava travada. No cabedal Preenchido, o que ocorreu foi que a modelagem foi feita com dimensões tão mínimas que, devido às características da impressora utilizada (SethiAip), não puderam ser reproduzidas corretamente em sua totalidade.

A matriz de decisão para o método de produção do cabedal é apresentada em forma de tabela (Tabela 2), contendo três classificações de solução: 1- Modelado, 2- Preenchido e 3- Têxtil. Cada alternativa foi avaliada quanto a Modelagem, Estabilidade, Transpiração e Impressão, de acordo com as observações feitas na introdução do presente item (matriz de decisão). A figura acima (figura 94), como discorrido anteriormente, apresenta quatro modelos distintos e a tabela 4 possui apenas três, isso se deve ao fato de ambos cabedais produzidos com a adição de têxteis, natural e sintético, constituírem uma única categoria de solução no âmbito desta decisão.

Tabela 2: Matriz de Decisão Produção do Cabedal

SOLUÇÃO	MODELAGEM	ESTABILIDADE	TRANSPIRAÇÃO	IMPRESSÃO
1- Modelado	1	4	4	3
2 - Preenchimento	4	5	4	4
3 - Têxtil	4	2	3	2

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: Valores referenciais qualitativos: 1 - pior avaliação; 5 - melhor avaliação.

Conclusões

A solução número 2, com produção do cabedal a partir dos padrões de preenchimento do software de fatiamento, superou ou igualou às outras em todos os quatro quesitos avaliados. Sua modelagem é facilitada devido ao fato de que são feitas a partir de superfícies majoritariamente planas e sólidas, embora limite um pouco alguns aspectos como detalhamento e a espessura mínima. Quanto à estabilidade, nos locais em que a lâmina impressa é mais espessa este quesito mostrou-se muito bom, devido ao fato de que mais camadas sobrepostas são fortalecidas e distribuem as deformações.

A transpiração foi considerada boa, já que, ao utilizar-se de densidades menores do que cinquenta por cento, é possível reproduzir minúsculos poros entre o filamento depositado, o que torna a lâmina de TPU produzida transpirável. A impressão para esta solução recebeu a melhor avaliação entre todas, considerando que utiliza uma configuração nativa do software de fatiamento e que isto reduz consideravelmente o tempo e o material gasto.

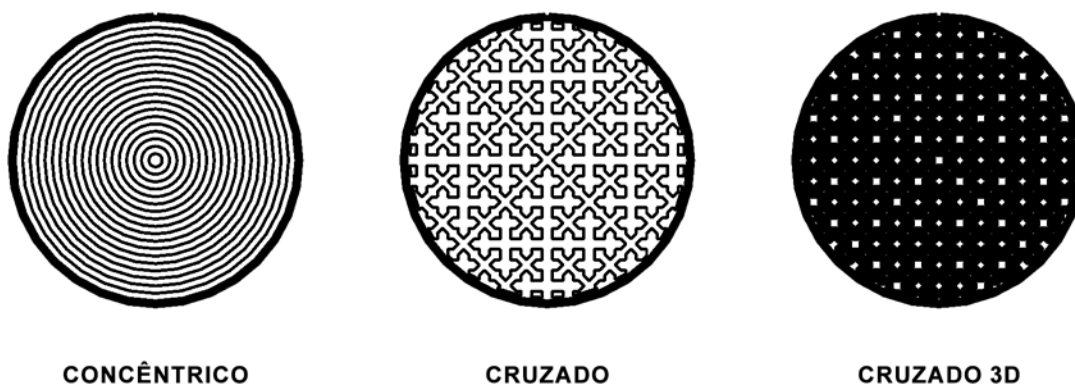
A solução intitulada “Modelado” obteve a segunda melhor avaliação, apesar de receber a menor nota no quesito Modelagem. Isto se deve ao fato de que modelar tantas e tão pequenas conexões exige demasiado esforço do autor e do hardware do computador. Em questão de estabilidade e transpiração esta alternativa mostrou-se adequada, a grade resistiu a moderada tração manual e poderia resistir ainda mais caso possuísse maior espessura. A impressão recebeu uma avaliação média já que não houve erros, porém, igualmente à modelagem, a quantidade e o tamanho das conexões entre as linhas modeladas faz com que a máquina (impressora) mude de direção muitas vezes para cobrir distâncias muito curtas, o que estende o tempo de impressão e a torna mais suscetível a erros, além do consumo elétrico mais elevado.

A opção de produção do cabedal “Têxtil” ficou com a pior classificação, apesar de sua modelagem receber uma avaliação positiva. Seu desempenho é extremamente comprometido nos quesitos Estabilidade e Impressão, já que a aderência do filamento um tecido muito denso é limitada e a inserção do tecido durante a impressão é complicado e torna o processo mais suscetível a erros. Em respeito a transpiração a avaliação foi satisfatória, visto que este quesito é influenciado diretamente pelas características do tecido utilizado.

Padrão de preenchimento Solado e Palmilha

Como já citado na descrição dos testes de impressão, os padrões de preenchimento utilizados para os componentes Solado e Palmilha foram: Concêntrico; Cruzado; e Cruzado 3D. Os três padrões estão representados em vista superior com legenda na figura 95. O padrão Concêntrico é caracterizado pela repetição do contorno reduzido em direção ao centro. O padrão Cruzado possui estruturas que assemelham-se a cruces ornamentadas conectadas e o padrão Cruzado 3D é uma variação deste, possuindo estruturas de cruces iguais, porém as dimensões das cruces são alteradas ao longo do eixo Z, fazendo com que na vista superior apresentada na figura, não seja possível identificar as cruces como no anterior.

Figura 95: Padrões de preenchimento do Ultimaker Cura indicados para peças flexíveis.



Fonte: adaptado de 3D LAB, 2021.

A matriz para decisão do padrão de preenchimento utilizado para impressão dos componentes Solado e Palmilha é apresentado na tabela abaixo (Tabela 3). Essa tabela é composta pelos três padrões utilizados no processo de testes, mostrados na Figura 95, e

suas respectivas avaliações quanto a Flexibilidade, Estabilidade e Impressão, conforme especificado na introdução do item de matriz de decisão.

Tabela 3: Matriz de Decisão Preenchimento Solado e Palmilha

SOLUÇÃO	FLEXIBILIDADE	ESTABILIDADE	IMPRESSÃO
Padrão Concêntrico	2	2	4
Padrão Cruzado 3D	5	5	4
Padrão Cruzado	4	4	4

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: Valores referenciais qualitativos: 1 - pior avaliação; 5 - melhor avaliação.

Conclusões

O padrão Cruzado 3D obteve o melhor resultado geral entre os três quesitos avaliados, superando ou igualando as outras alternativas. Este preenchimento obteve um ótimo resultado quando flexionado e quanto a estabilidade, flexionando de maneira suave e sem estalos. Algumas junções de faces da impressão 3D se desconectaram apenas quando extremamente solicitadas, como flexão de 180°, torção manual etc. Quanto a sua impressão a avaliação foi boa, já que é uma configuração nativa do software de fatiamento, porém sua composição é das mais complexas entre todas as opções, o que torna o processo de impressão mais complexo e, portanto, mais lento.

O padrão Cruzado foi classificado como a segunda melhor opção para preenchimento do solado e palmilha. Esta opção demonstrou boa capacidade de flexão e boa estabilidade, podendo ouvir-se apenas leves sons de estalo quando flexionada. Vale ponderar que sua estrutura com colunas verticais pode influenciar na sua resposta a forças externas. Da mesma forma que o Cruzado 3D, sua impressão também foi avaliada como boa, ainda que este seja menos complexo que aquele.

O padrão Concêntrico foi avaliado negativamente quanto a estabilidade e flexibilidade, sonorizando estalos e até se rompendo, no caso da palmilha, diante de ação de força manual leve. É verdade que o formato e as características da palmilha feita neste teste influencia diretamente neste caso do rompimento, de toda forma o uso deste padrão de preenchimento foi desconsiderado, mesmo que no quesito impressão tenha recebido uma boa avaliação, como as demais.

Padrão de preenchimento do Cabedal

Com a definição da produção do cabedal a ser feita com o método “Preenchido”, o padrão de preenchimento influenciará diretamente na estética da peça impressa desenvolvida, já que ficará visível externamente. A esta altura dos testes, já haviam diferentes componentes impressos que mostraram vários padrões de preenchimento utilizados, não havendo necessidade, na opinião do autor, da realização de novos testes para esta análise. A figura 96 apresenta os três componentes impressos com os respectivos preenchimentos da esquerda para a direita: “Giróide” (a), com densidade de quarenta por cento; “Grade” (b), com densidade de vinte por cento; e “Linhas” (c), com densidade de cinquenta por cento.

Figura 96: Testes de padrão de preenchimento do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor. a) giróide 40%; b) grade 20%; c) linhas 50%

A matriz de decisão para o padrão de preenchimento do cabedal é apresentada em forma de tabela (Tabela 5), contendo os três padrões mostrados na figura anterior (figura 96): Giróide (a), Grade (b) e Linhas (c). Os padrões citados foram avaliados nos quatro quesitos definidos pelo autor, sendo eles: Flexibilidade, Estabilidade, Impressão e Aparência. A significância de cada quesito é explanada na introdução do item referente a matriz de decisão do projeto.

Tabela 4: Matriz de decisão do padrão de preenchimento do Cabedal

SOLUÇÃO	FLEXIBILIDADE	ESTABILIDADE	IMPRESSÃO	APARÊNCIA
a) Giróide	5	4	3	5
b) Padrão Grade	3	3	5	3
c) Padrão Linhas	4	4	4	4

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: Valores referenciais qualitativos: 1 - pior avaliação; 5 - melhor avaliação.

Conclusões

O padrão chamado “Giróide” foi o que recebeu a melhor classificação entre os três, sua estrutura, de certo modo, entrelaçada a conferiu a nota máxima nos quesitos Flexibilidade e Aparência. Contudo, sua estabilidade foi considerada apenas boa, devido ao fato de que o padrão só se conecta entre os eixos vertical e horizontal a partir de uma determinada espessura, fazendo com que espessuras muito finas só sejam conectadas pelo padrão em uma direção, longitudinal ou transversal. Isso torna a lâmina de TPU frágil a forças em uma determinada direção, dependendo do posicionamento na hora da impressão.

O segundo padrão mais indicado entre os analisados foi o “Linhas”, obtendo boa avaliação em todos os quesitos. Sua impressão é das mais simplificadas, ainda que produza poros extremamente finos a depender da densidade do preenchimento. Sua aparência final pode ser comparada a um têxtil sintético, imitando tramas e urdumes que, ao invés de entrelaçadas, são fundidas umas às outras. Essas características também são o que fazem esta opção ser bem avaliada nos quesitos Flexibilidade e Estabilidade.

O padrão de “Grade”, ainda que tenha uma avaliação geral satisfatória no âmbito desta análise, ficou com a pior classificação entre as três. Este padrão caracteriza-se por ser muito semelhante ao padrão de “Linhas”, porém, produz linhas mais espessas, ou necessita de uma melhor calibragem na configuração de densidade do software para obter um melhor resultado final de para os quesitos de Aparência, Flexibilidade e Estabilidade. Sua natureza ainda mais simples que o de linhas o confere uma boa avaliação no quesito impressão.

Considerações

A partir das cinco matrizes de decisão, foi possível escolher as opções mais viáveis para a confecção do projeto final. As avaliações permitiram também perceber potenciais

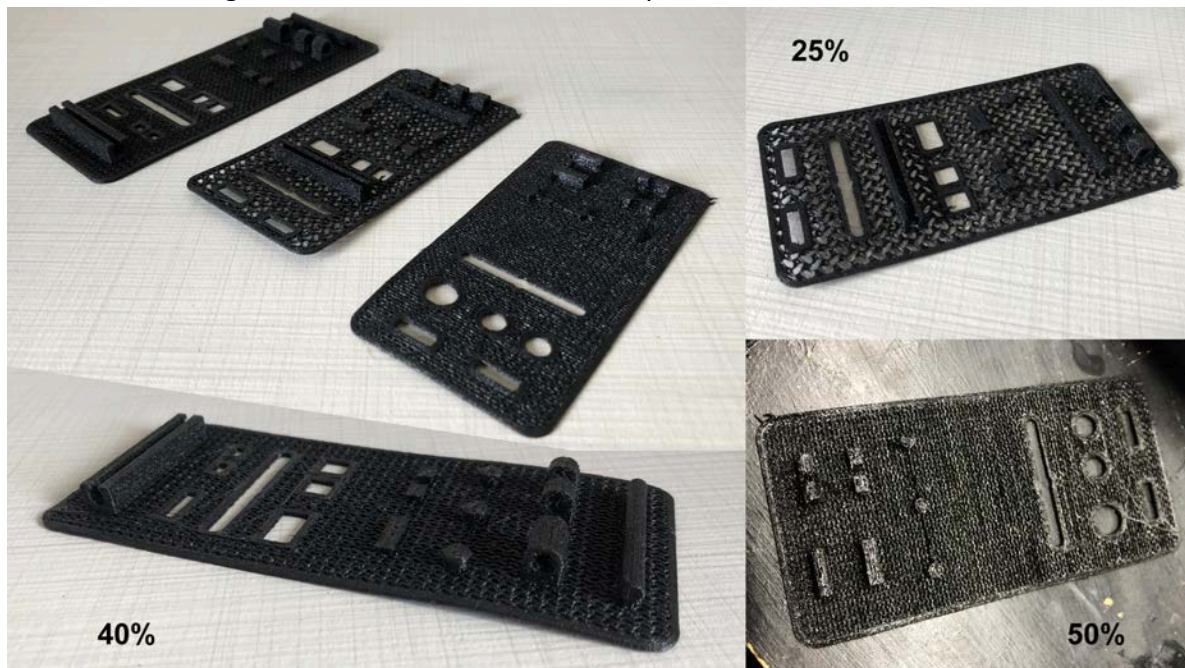
otimizações dos pontos fracos de um sistema desenvolvido em teste, a partir das características apresentadas em outro modelo comparado. Dentre as decisões feitas por matriz, foram selecionadas as melhores soluções para Sistema de Montagem; Produção do Cabedal; Padrão de Preenchimento de Solado e Palmilha; União das bordas do Cabedal; e Padrão de preenchimento do Cabedal.

Para o sistema de montagem, o resultado final deve ser semelhante ao sistema “Deslizante”, porém com adaptações baseadas na solução “Abas”. Para a Produção do Cabedal, o método selecionado foi o que utiliza o padrão de preenchimento do *software* sem as camadas superior e inferior. Esta decisão influencia as decisões de União do Cabedal e Padrão de Preenchimento do Cabedal. Dentre estas duas citadas, a solução escolhida para a primeira foi a intitulada de “Olhais” e o padrão de preenchimento foi determinado como sendo o “Giróide” o mais adequado. Por fim, a matriz de decisão referente ao Padrão de preenchimento utilizado nos componentes Palmilha e Solado decidiu pela utilização do padrão chamado “Cruzado 3D”, melhor qualificado entre os três analisados.

Solução de União das Bordas do Cabedal

Os testes para união das bordas do cabedal, presentes nas duas figuras a seguir, figuras 97 e 98, foram desenvolvidos pelo autor após a definição por matriz do modo de produção do Cabedal a ser utilizado no projeto, que é o modelo chamado “Preenchido”. Utilizando esta configuração de impressão, os padrões de preenchimento da peça, que ficam expostos, e a densidade do preenchimento influenciam na estética visual do componente. Cada um dos três testes impressos, mostrados na parte superior esquerda na figura 97, foi desenvolvido com diversos sistemas de encaixe, de maneira que os encaixes acontecessem entre as duas extremidades de uma mesma peça. Estes testes foram desenvolvidos um de cada vez, de forma que fosse possível avaliar e otimizar os resultados entre um teste e outro. Além de variar os sistemas de encaixe, os testes também variaram em espessura e densidade de preenchimento, o tipo de preenchimento foi mantido como “Giróide” para todos eles. A densidade de preenchimento variou entre vinte e cinco, quarenta e cinquenta por cento, a maior (50%) e a menor (25%) densidade estão localizadas à direita na figura 96, nas partes superior e inferior respectivamente.

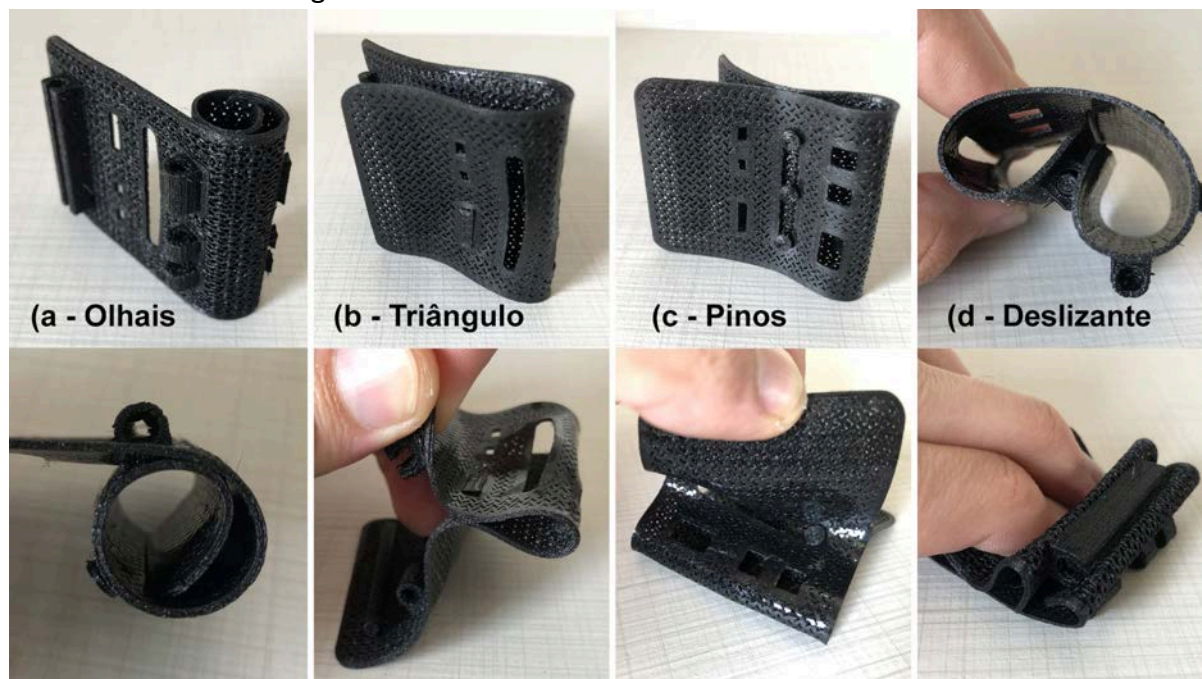
Figura 97: Testes de densidade de preenchimento do cabedal



Fonte: elaborado pelo autor.

Como os testes para a união do cabedal passaram por duas otimizações, foram utilizados os encaixes presentes na última peça impressa, que se caracteriza por ser levemente mais alongada que as demais e preenchimento intermediário. A figura 98 apresenta os quatro sistemas de união do cabedal desenvolvidos pelo autor em quatro colunas de duas imagens cada, a imagem inferior de cada coluna mostra o comportamento da solução mediante ação externa, como flexão ou tração.

Figura 98: Testes de união das bordas do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor. a) olhais; b) triângulo; c) pinos; d) deslizante.

Na figura 98 (a) a trava entre as bordas do cabedal é feita pela interposição de olhais elevados com furos circulares que, quando posicionados corretamente, ficam acima da outra borda do cabedal, permitindo que outro componente ligado a todos os olhais, trave os componentes na posição montada.

A figura 98 (b) mostra um sistema de união entre as bordas do cabedal feito por pequenas estruturas retangulares com a base mais estreita que o topo, semelhante a um triângulo invertido quando vistas de perfil. Estes retângulos encaixam-se dentro de furos com formato e dimensões semelhantes e a diferença de largura da base e topo dificulta a desconexão provocada por tração.

O terceiro sistema de teste de união do cabedal desenvolvido, exibido na figura 98 (c), consiste em três pinos com formatos de cabeça de prego que se encaixam em um tipo de trilho com largura semelhante a largura da base dos pinos através de um alargamento no centro deste trilho, por onde as partes mais largas atravessam a lâmina impressa deslizam para suas posições finais.

No último sistema de união das bordas do cabedal testado, o princípio de encaixe assemelha-se ao desenvolvido para a união do cabedal ao solado chamado de “Deslizante”: Uma estrutura perpendicular à lâmina de TPU, de base estreita e a parte superior circular mais larga do que a base, parecendo com um pequeno pirulito visto de perfil. Na outra

extremidade há um trilho elevado com um espaço negativo no mesmo formato só que que invertido, permitindo que a extremidade oposta seja inserida por um lado do trilho e deslizada até o fim para posicionar o encaixe no lugar. Neste sistema, mostrado na figura 98 (d), o travamento entre as estruturas dá-se pela diferença de largura entre a base e o topo ao longo do trilho, dificultando a desmontagem do componente.

A matriz de decisão para a solução de união das bordas do cabedal, composta pelas quatro alternativas exibidas na figura 98, é apresentada na Tabela 4 com quatro quesitos avaliativos: Montagem/Desmontagem, Estabilidade, Componentes e Impressão. Referências sobre as ponderações dos quesitos presentes na tabela encontram-se na introdução do presente item da matriz de decisão.

Tabela 5: Matriz de decisão da União da bordas do Cabedal

SOLUÇÃO	MONTAGEM/ DESMONTAGEM	ESTABILIDADE	COMPONENTES (Nº)	IMPRESSÃO
a) Olhais	4	5	3	3
b) Triângulo	2	3	2	3
c) Pinos	3	2	2	3
d) Deslizante	3	2	2	3

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: Valores referenciais qualitativos: 1 - pior avaliação; 5 - melhor avaliação.

Conclusões

A solução dos Olhais obteve a melhor avaliação entre as quatro comparadas. Apesar de contar com um componente a mais, sua estrutura a torna fácil de montar e desmontar e bem travada, o que a torna uma ótima alternativa para esta função. Contudo, seu uso nas bordas traseiras pode demandar uma modificação de formato. Quanto à impressão, este método de união recebeu uma avaliação média, já que os furos verticais circulares dos olhais acabam acumulando “rebarbas” de impressão que não são retiradas com muita facilidade.

As demais soluções analisadas, Triângulo, Pinos e Deslizante, foram consideradas equivalentemente insatisfatórias, apesar de cada uma possuir um quesito avaliado como satisfatório. A solução em “Triângulo” (a) foi classificada como satisfatória, no quesito

estabilidade, mas demanda adaptações para ser utilizada de fato. As alternativas “Pinos” e “Deslizante” mostraram-se de montagem prática, porém, pouco estável, desconectando-se com a aplicação de força manual leve e, para pô-las em funcionamento, otimizações seriam necessárias.

Soluções estéticas

Para as soluções estéticas desenvolvidas, o principal método utilizado foi o brainstorming. Partindo das referências dos painéis Semânticos e Visual de Produtos, desenvolvidos anteriormente, o autor esboçou para os dois componentes principais, Cabedal e Solado, diferentes variações, principalmente no âmbito dos detalhes visuais, já que as formas gerais e o volume mantiveram-se praticamente inalterados dentre as alternativas geradas. Após uma breve análise feita pelo autor, as alternativas mais relevantes ganharam mais definição e algum detalhamento de sombra e textura, recebendo também uma identificação ordinal enumerativa, sem classificação qualitativa.

Para o Cabedal, o desenvolvimento de alternativas foi dividido em duas partes: alternativas para o Perfil do Cabedal e alternativas para a “malha” ou “tecido” do Cabedal. Esta última consistiu basicamente por linhas que se conectam a fim de formar um tipo de trama, porém, a estrutura do tecido flexível do Cabedal é limitada às opções de preenchimento de impressão 3D presentes no *software* de preparação, conforme decidido na matriz apresentada anteriormente (Tabela 4: Matriz de Decisão Produção do Cabedal). Por este motivo as alternativas de preenchimento do *software* de fatiamento são expostas após as alternativas de malha geradas pelo autor. Para o Solado, as alternativas geradas foram divididas entre o Perfil Solado e o Padrão Inferior do Solado, ou seja, alternativas para a vista lateral e inferior do componente.

Estas alternativas serão combinadas através de uma matriz morfológica (ou “Caixa Morfológica”, citada por Bonsieppe, 1984. p. 45), juntamente com as alternativas de perfil do Cabedal, objetivando cobrir as possíveis soluções para o projeto. Inicialmente, combinou-se as alternativas de perfil de Cabedal e Solado selecionadas a critério do autor, visando representar os conceitos e a estética definidos nos conceitos e painéis. Posteriormente a esta primeira combinação, foram combinadas as alternativas de perfil do calçado (Perfil de Cabedal e Perfil de Solado) selecionadas com as alternativas de padrão

inferior de Solado, as alternativas foram selecionadas e combinadas segundo o mesmo critério citado anteriormente.

Brainstorming

O método de *Brainstorming* ortodoxo, segundo Bonsiepe (1984), consiste em uma técnica criativa para geração de alternativas em grupos de quatro a sete pessoas. As ideias geradas com esta ferramenta são formuladas livremente e sem observações críticas. Em um segundo momento, que o autor (BONSIEPE, 1984) denomina *Brainstorming* destrutivo/construtivo, as observações críticas devem ser ponderadas, filtrando as ideias e apontando para a melhor solução ao problema inicial.

De acordo com Pazmino (2010a) o *Brainstorming* é uma técnica criativa em grupo criada em meados do século XX e pode ser aplicada em qualquer projeto. Baseado em associações, este método visa estimular um grupo de pessoas a formular um grande número de ideias de maneira rápida. Guiados por um líder, entre cinco e dez participantes de áreas multidisciplinares têm entre meia hora e cinquenta minutos para formular o máximo de ideias possíveis e impossíveis, sem formular críticas. A autora descreve um *Brainstorming* individual como sendo uma adaptação do *Brainstorming* que descreveu anteriormente. Neste método o designer tem um tempo limitado para escrever ou desenhar ideias de soluções para o projeto, buscando maximizar a quantidade e não a qualidade das ideias, sem formular observações críticas, evitando, assim, bloquear sua criatividade.

Cabedal

As soluções estéticas para o Cabedal, desenvolvidas através do método de Brainstorming partindo dos painéis visuais criados, estão apresentadas na figura 99. A figura apresenta quatorze alternativas organizadas e numeradas em duas colunas com a mesma quantidade de opções em cada uma, sob o texto “ALTERNATIVAS CABEDAL”.

As alternativas visam explorar diferentes aspectos morfológicos para a estrutura do Cabedal, sem alteração significativa de volume entre as opções. As principais estruturas para dar o formato do Cabedal são o calcanhar, a lateral e o bico. As estruturas do calcanhar e das laterais contribuem para a manutenção do formato do calçado no sentido transversal, majoritariamente, enquanto que a estrutura do bico contribui para a manutenção do formato da parte frontal do calçado, principalmente no plano sagital. As demais regiões do calçado não demandam rigidez na estruturação, necessitando, portanto, mais flexibilidade

para promover o conforto necessário para o usuário. Dentre as regiões com maior demanda de flexibilidade, pode-se citar a região lateral dos tornozelos (sob os maléolos), a região do dorso do pé (incluindo região sobre os dedos) e principalmente a região de flexão dos dedos (articulação metatarsofalangeana) que é solicitada frequentemente durante a ação de caminhar.

Visto isso, as alternativas foram representadas com basicamente duas texturas, que indicam a diferença de espessura do Cabedal: as regiões com a textura granulada representam áreas mais finas, enquanto que as regiões com a textura lisa indicam áreas mais espessas. Esta diferença de espessura faz com que o componente seja mais rígido ou mais flexível em suas diferentes áreas, garantindo que o calçado mantenha um formato definido, deformando apenas onde e quando solicitado. Vale ressaltar que as alternativas presentes na figura 99 consistem em modelos iniciais e, como será mostrado nos tópicos seguintes, poderão sofrer alterações e/ou combinações conforme as alternativas foram definidas.

Figura 99: Soluções estéticas para o Cabedal

ALTERNATIVAS CABEDAL

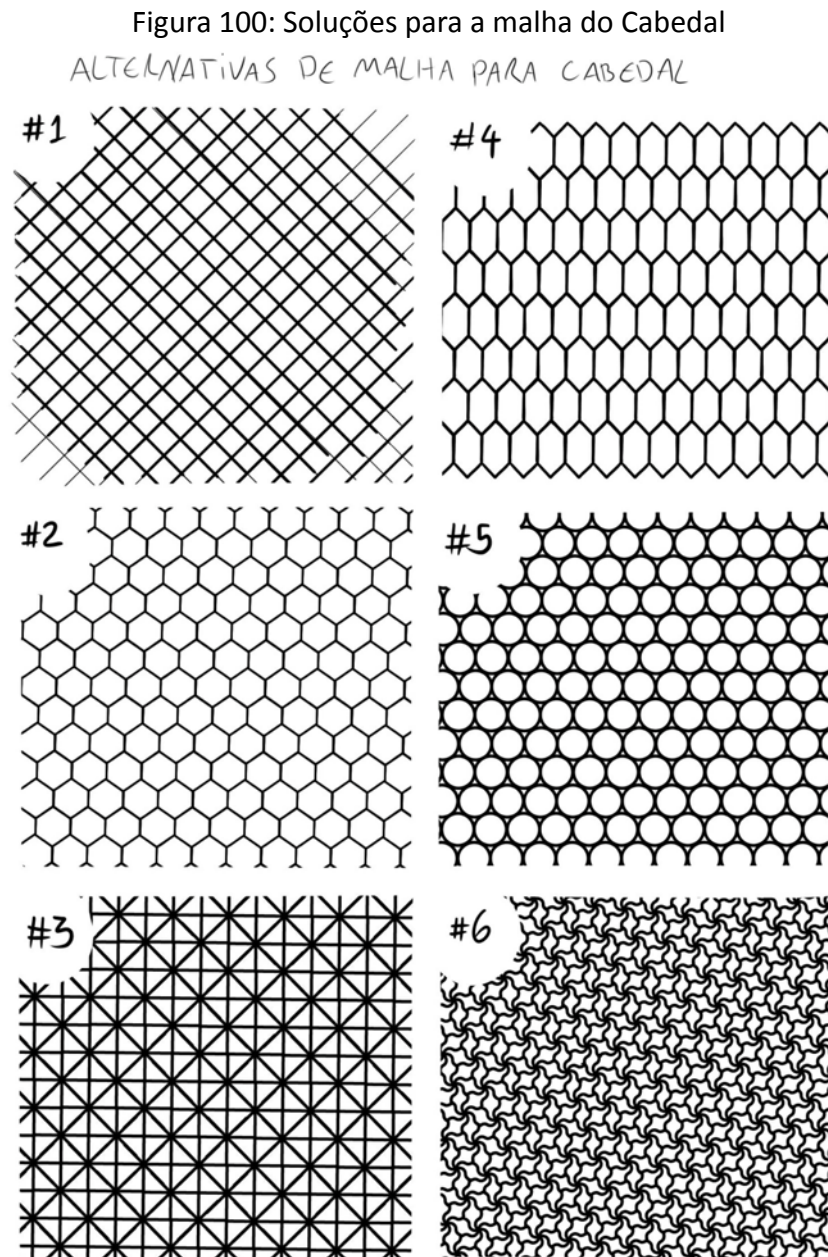


Fonte: elaborado pelo autor.

Malha

As alternativas de malha para o cabedal, apresentadas na figura 100, foram desenvolvidas pelo autor, inicialmente, para aplicação apenas nas áreas com a textura granulada das opções de Cabedal ilustradas na figura 99, conforme explanado anteriormente. Porém a modelagem de linhas demasiadamente finas em grande quantidade torna o processo de modelagem demorado e o processo de impressão instável, como observado na tabela 7: Matriz de decisão do padrão de preenchimento do Cabedal. Os seis padrões de malha para cabedal desenvolvidos estão dispostos em duas colunas de três

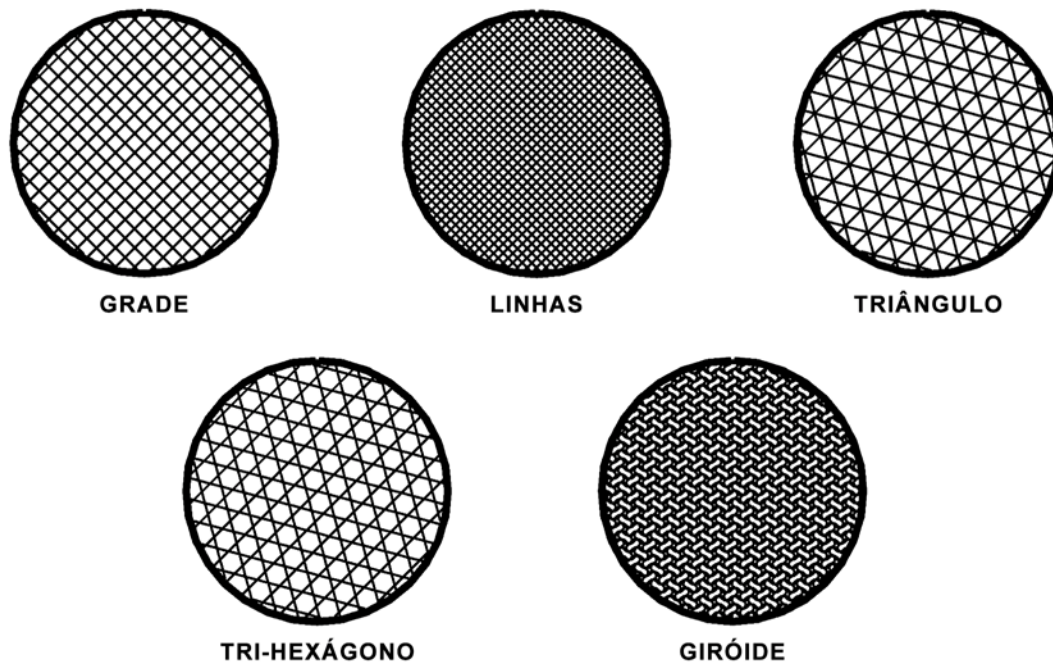
opções cada com a numeração exposta no canto superior esquerdo de cada opção (Figura 100).



Fonte: elaborado pelo autor.

Como o método para a fabricação do Cabedal a partir dos padrões de preenchimento do software de preparação se mostrou o mais efetivo, notou-se que alguns padrões indicados no blog 3DLabs (2021) para outras classificações de impressão, diferentes da flexível, assemelham-se aos padrões de malha desenvolvidos, presentes na figura 100, a exemplo dos padrões: Grade; Linhas; Triângulo; Tri-hexágono; e Giróide; mostrados na Figura 101.

Figura 101: Preenchimentos do Ultimaker Cura semelhantes às malhas criadas.

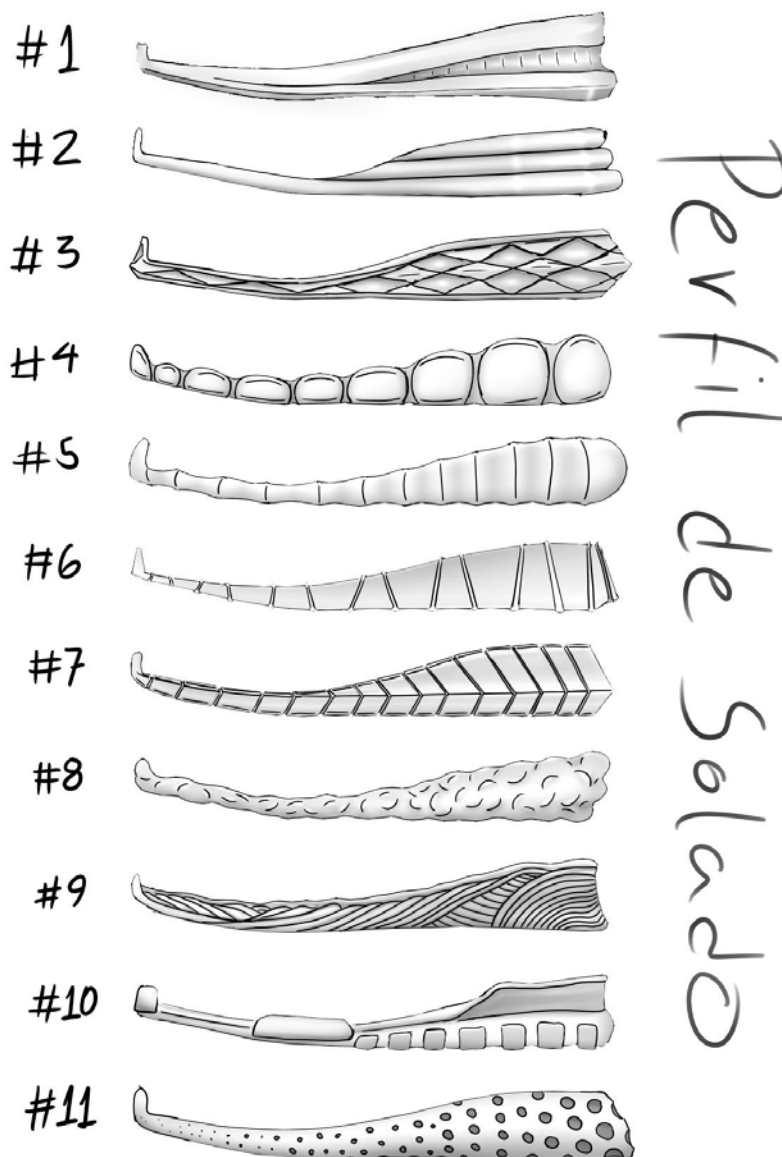


Fonte: elaborado pelo autor.

Solado

As alternativas de solado geradas através do *Brainstorming* foram selecionadas, levemente refinadas e organizadas em uma única coluna acompanhadas de uma numeração ordinal de um a onze que não possui valor qualitativo, conforme exibe a figura 102. A direita das alternativas, na figura 102, pode-se ler o texto “Perfil de Solado”, indicando que as alternativas de solado estão representadas em uma visão lateral. As alternativas buscam explorar os conceitos dos painéis visuais através da alteração de contornos e relevos, apesar de todas manterem uma silhueta com volumes e dimensões semelhantes, a exemplo da elevação do bico e a diferença de altura (*drop*) entre a região do calcanhar e o mediopé.

Figura 102: Soluções estéticas para o Solado



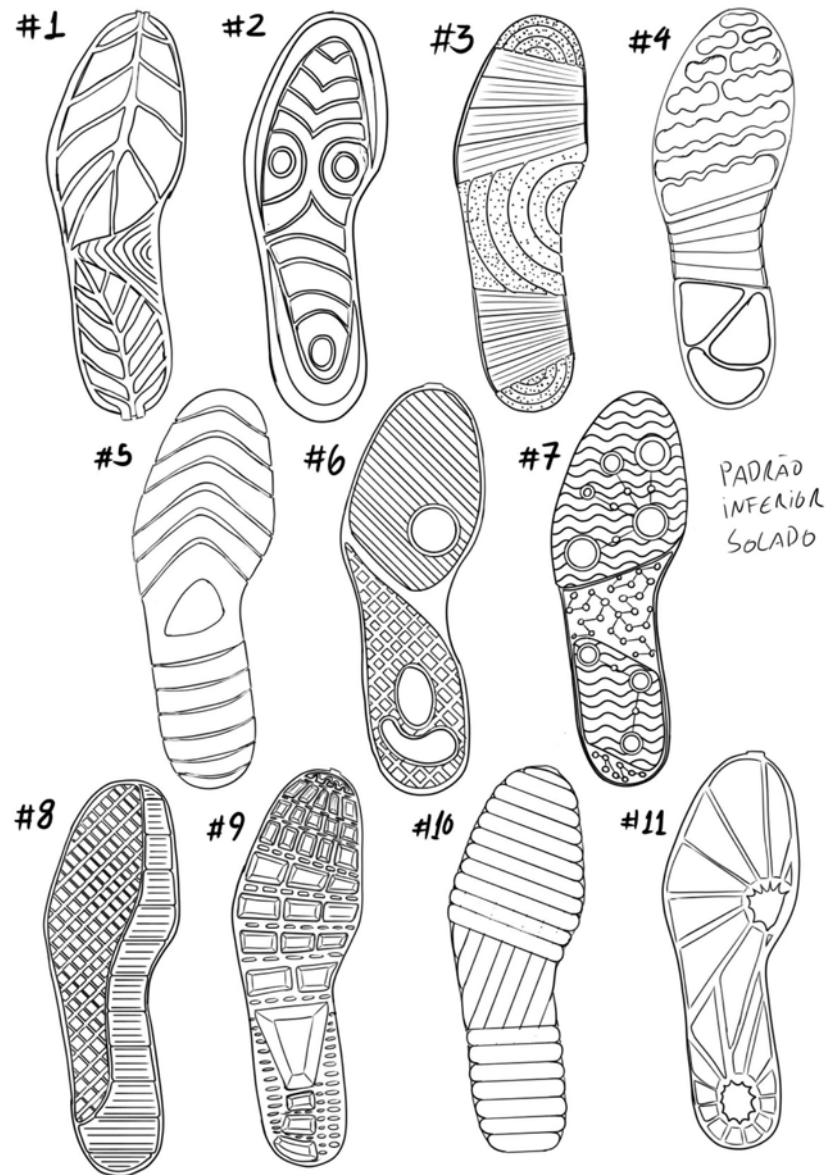
Fonte: elaborado pelo autor.

Padrão de Sola

As alternativas de padrão de Sola, ou padrão inferior do Solado, foram desenvolvidas pelo autor através do método de *Brainstorming* descrito anteriormente. Após uma pré-seleção, as alternativas foram sutilmente refinadas e organizadas em três linhas horizontais seguindo a contagem de um a onze. As alternativas estão expostas na figura 103 e nota-se que a linha central possui uma alternativa a menos em relação às outras e que a direita pode-se ler o texto “Padrão Inferior Solado”. As alternativas baseiam-se em um mesmo contorno de palmilha onde, basicamente através de linhas, foram inscritos

contornos de relevos e padrões inspirados nos painéis visuais desenvolvidos. Além dos painéis, os principais fatores funcionais considerados também para a geração de alternativas de padrão de sola são os pontos de apoio plantar, absorção do primeiro contato e extensão dos dedos durante o ciclo de marcha.

Figura 103: Soluções para o Padrão Inferior do Solado



Fonte: elaborado pelo autor.

Matriz Morfológica

A ferramenta, ou método, chamado por Bonsiepe (1984) de “Caixa Morfológica” é uma técnica criativa para geração de alternativas usada para cobrir uma gama de possíveis soluções através da combinação de subsistemas ou componentes.

Segundo Pazmino (2010c), a técnica criativa “Matriz Morfológica” é uma ferramenta analítica combinatória também conhecida como “Caixa de Zwicky”. Foi inventada no final da década de sessenta e é utilizada para idealizar a configuração do produto, gerando conceitos que atendam aos requisitos do projeto através da combinação de alternativas de solução. Para possibilitar as combinações, segmenta-se o produto por função, ou variável, e são desenvolvidas soluções para cada uma. A solução final é encontrada dentre as múltiplas possibilidades de combinação geradas no processo.

Cabedal e Solado

Dentre as onze soluções para Perfil de Solado e as doze soluções para Perfil de Cabedal apresentadas anteriormente, o autor selecionou (a critério próprio da melhor representação dos conceitos mostrados nos painéis) quatro alternativas de cada uma para compor a matriz morfológica entre o Cabedal e o Solado. As alternativas foram organizadas na figura 104 em quatro linhas e quatro colunas, de maneira que cada linha horizontal repete a mesma alternativa de Perfil de Cabedal, enquanto as soluções de Perfil de Solado são alternadas entre as colunas. Além das dezesseis combinações, a figura apresenta o texto “Cabedais x Solados”, indicando a combinação entre estes dois componentes, e marcações em “X” sobre um círculo preto, que apontam as seis alternativas selecionadas pelo autor nesta matriz.

Figura 104: Combinações de Perfil de Cabedal e Perfil de Solado



Fonte: elaborado pelo autor.

Com as alternativas de perfil do calçado definidas na matriz previamente apresentada, o autor selecionou também quatro alternativas de padrão inferior do solado dentre as onze desenvolvidas na etapa anterior. A seleção baseou-se na melhor representação, na opinião do autor, dos conceitos exibidos nos painéis semânticos. A figura 105 apresenta a matriz morfológica com as alternativas organizadas em duas linhas contendo as combinações entre o perfil do calçado posicionadas sobre o padrão inferior de solado correspondente. Entre as duas linhas de combinações pode-se ler o texto “Calçado x Padrão Inferior de Solado”, apontando os componentes combinados nesta matriz, e três marcações em “X” circunscritas por um círculo preto. As marcações indicam os resultados da matriz selecionados pelo autor para o refinamento das soluções finais.

Figura 105: Combinações de perfil de calçado e padrão inferior de solado

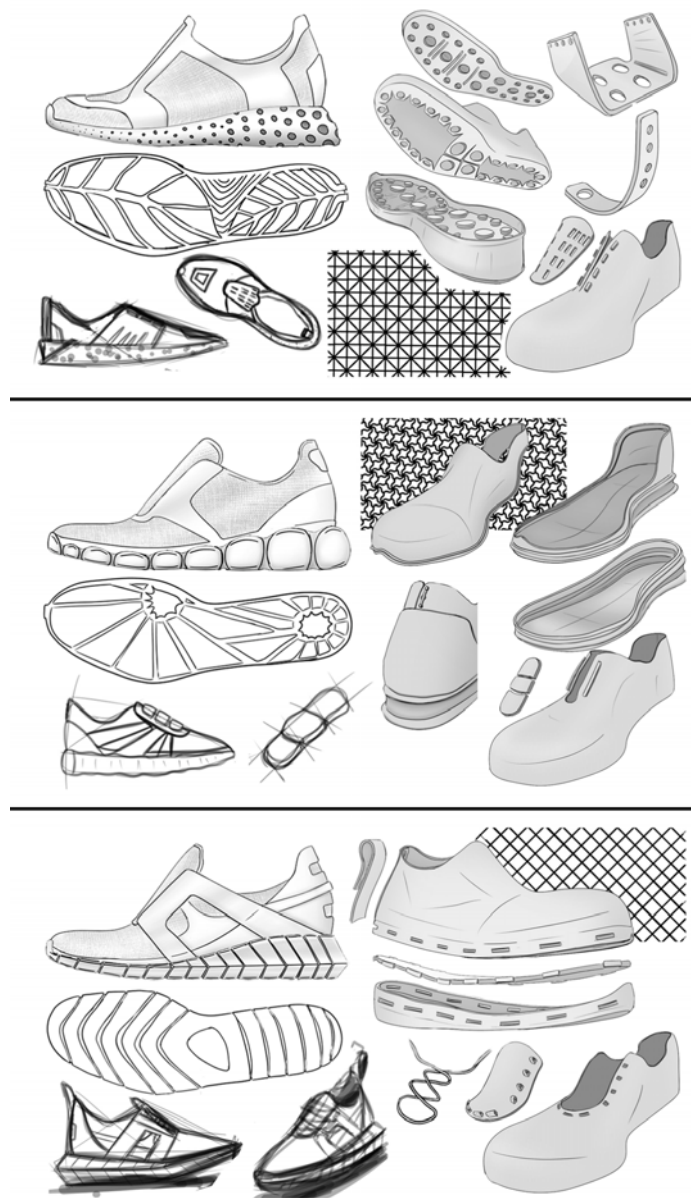


Fonte: elaborado pelo autor.

Alternativas

Com a definição das alternativas estéticas, o autor buscou combinar as soluções estéticas com as soluções funcionais desenvolvidas, considerando que todas as soluções funcionais teriam um desempenho semelhante durante um possível teste, de acordo com suas características morfológicas. Após uma primeira combinação, foram encontrados pontos que poderiam se encaixar melhor entre as combinações, como a região do ajuste do Cabedal e algumas formas e estruturas do Cabedal e Solado. Por este motivo foram esboçados novos modelos com as adaptações necessárias, porém sem muita definição visual, exibidos na figura 106.

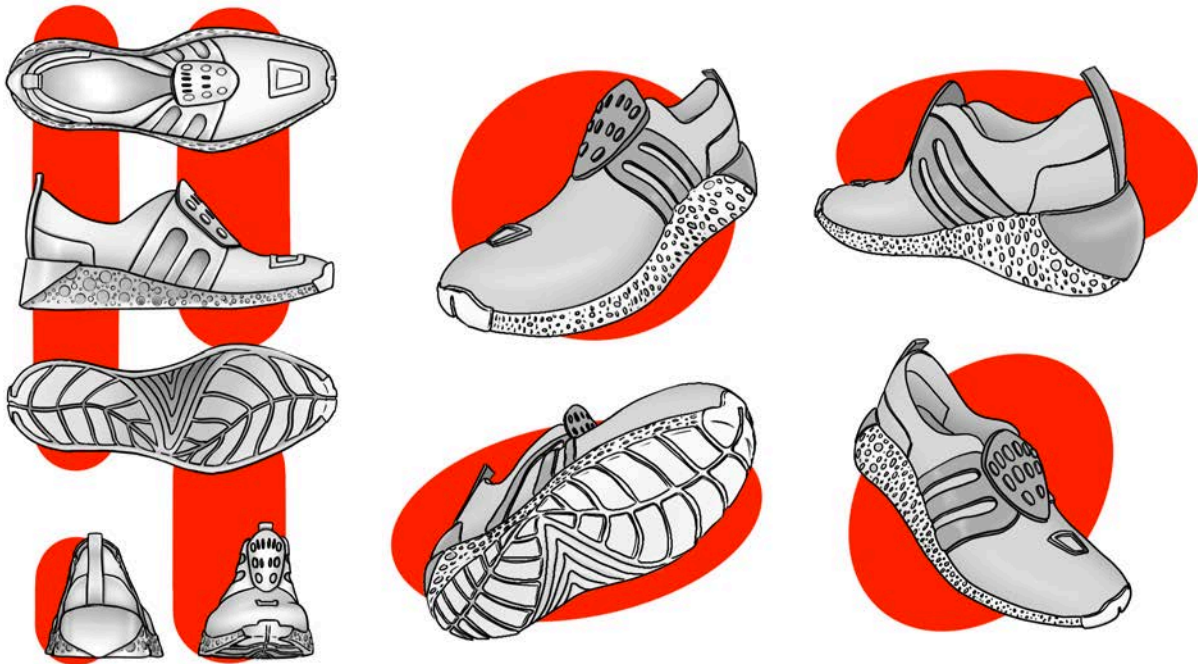
Figura 106: Esboços das alternativas.



Fonte: elaborado pelo autor.

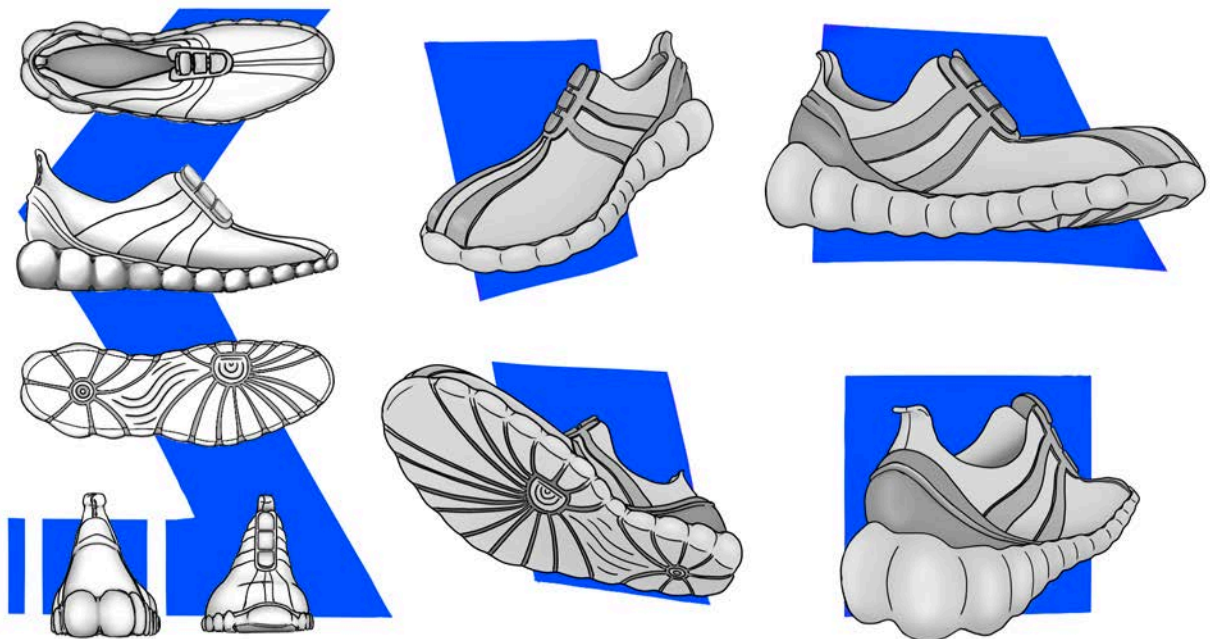
Partindo destes esboços, foram desenvolvidas as 3 alternativas que combinam as soluções estéticas e funcionais de forma mais definida, com vistas ortogonais e perspectivas mais detalhadas. As figuras 107, 108 e 109 apresentam as alternativas Nº 1, Nº 2 e Nº3, respectivamente.

Figura 107: Alternativa Nº 1.



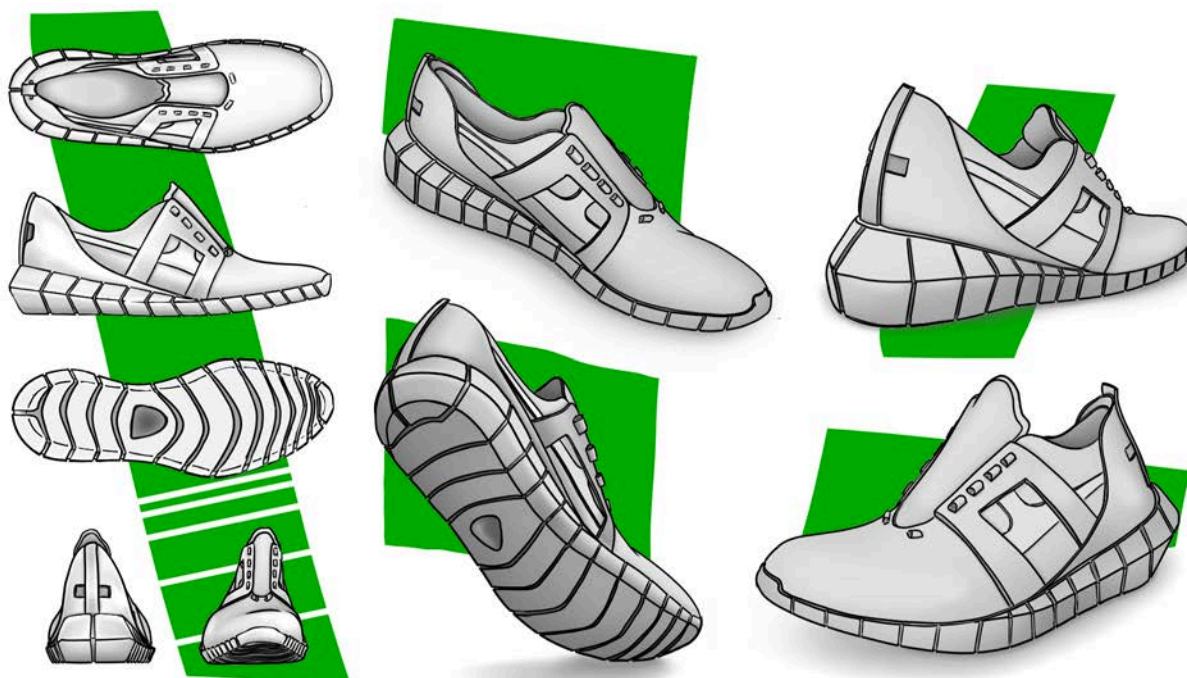
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 108: Alternativa Nº 2.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 109: Alternativa Nº 3.



Fonte: elaborado pelo autor.

2.3.2 Avaliação

Ao considerar as alternativas presentes nas figuras 107, 108 e 109 em conjunto com os resultados e conclusões dos testes de impressão apresentados anteriormente, o autor selecionou aquela que, para ele, melhor compreendia e representava os conceitos visualizados nos painéis visuais criados para o projeto: Confortável, Cíclico e Ecológico.

Apesar das alternativas serem idealizadas para os três diferentes sistemas de montagem e três das quatro soluções de união das bordas do Cabedal, algumas das quais já foram descartadas nas matrizes decisórias elaboradas, as soluções avaliadas aqui levam em consideração apenas a aparência das alternativas representadas nas ilustrações.

Seleção

O calçado desenvolvido deverá assemelhar-se às ilustrações exibidas na figura 109 (alternativa Nº 3). Além do sistema de ajuste com olhas e lingueta tornar o conceito mais próximo da maioria das opções do mercado, esta alternativa possui uma boa tendência a estabilidade do Cabedal, devido às áreas mais grossas no calcanhar e no centro, e a flexão

do solado, potencializada e canalizada pela série de vincos ao longo de sua face lateral e inferior.

As demais alternativas não foram descartadas e possuem potencial para produção, desde que feitas as devidas alterações, principalmente para adequação do Cabedal ao sistema de montagem utilizado, tornando-as possíveis variações estéticas com um mesmo sistema. Da mesma forma, o autor acredita que os solados presentes nas alternativas preteridas têm totais condições de comportar o sistema de montagem desenvolvido, tornando-as também alternativas de estilo. Como o principal desafio é tornar o protótipo funcional, o modelo será baseado apenas na alternativa Nº 3, deixando as demais a depender do sucesso na usabilidade do sistema de montagem criado.

2.4 ENTREGAR

Este presente capítulo corresponde à última fase da metodologia *Double Diamond* (2003), denominada “Entregar”. Nesta metodologia, criada pelo The Design Council, esta etapa está localizada na segunda parte do segundo diamante, e tem como objetivos testar e refinar a solução final. Como definido na metodologia deste PCC, as etapas finais correspondentes da metodologia projetual de Bonsiepe (1984), Realização e Avaliação Final, foram inseridas neste capítulo.

2.4.1 Realização

A sexta etapa da metodologia de Bonsiepe (1984), denominada Realização consiste em refinar a solução final encontrada, modelá-la em 3D e extrair os desenhos técnicos respectivos. Além do ambiente digital, o autor também descreve como ferramentas para esta etapa a confecção de um ou mais protótipos, a fim de realizar testes estruturais que podem evidenciar possíveis problemas. As etapas realizadas pelo autor deste PCC neste capítulo serão apresentadas nos tópicos a seguir, sendo eles: Pré modelagem, Modelagem, Renderização e Planificação e Protótipo.

Pré modelagem

A pré modelagem consiste em todas as etapas realizadas antes de desenhar o calçado sobre a forma. No caso deste projeto, a forma foi confeccionada para um usuário específico, portanto, baseia-se nas medidas e formatos dos pés deste. Além do desenvolvimento das formas customizadas para cada pé, a fase de pré modelagem também abrange o traçamento das linhas e pontos básicos de modelagem sobre a forma, conforme especificado no tópico referente às linhas básicas de modelagem.

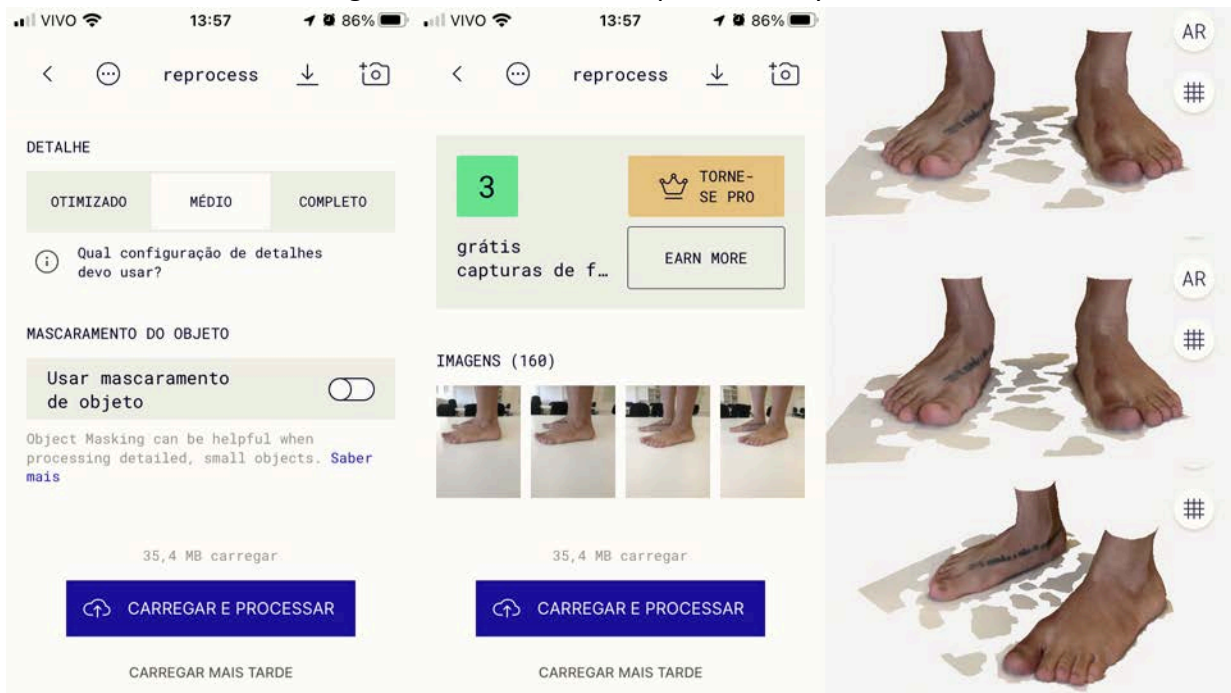
Forma Customizada

A criação do protótipo do calçado proposto neste PCC baseia-se em pés femininos reais e de tamanho relativamente pequeno, tendo em vista que o tamanho do pé influenciará diretamente em fatores técnicos como a quantidade de material utilizado e o tempo de impressão. Outro fator considerado na escolha dos pés que seriam utilizados como base, foi o acesso a pessoa cujos pés seriam representados, resultando na escolha dos pés da professora orientadora do projeto, Dra. Rochelle Cristina dos Santos, que calça o tamanho 33 (trinta e três) pontos franceses do Brasil na maioria dos modelos que possui. Por estar diretamente ligada a realização do projeto, a obtenção das medidas e imagens utilizadas para modelagem da forma pôde ser feita em mais de uma ocasião com diferentes métodos e permitindo eventuais confirmações ou correções. As imagens em 3D foram obtidas a partir do aplicativo Polycam, inseridas, modificadas e dimensionadas dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7. O dimensionamento foi feito com base nos valores obtidos a partir da fita métrica.

Polycam

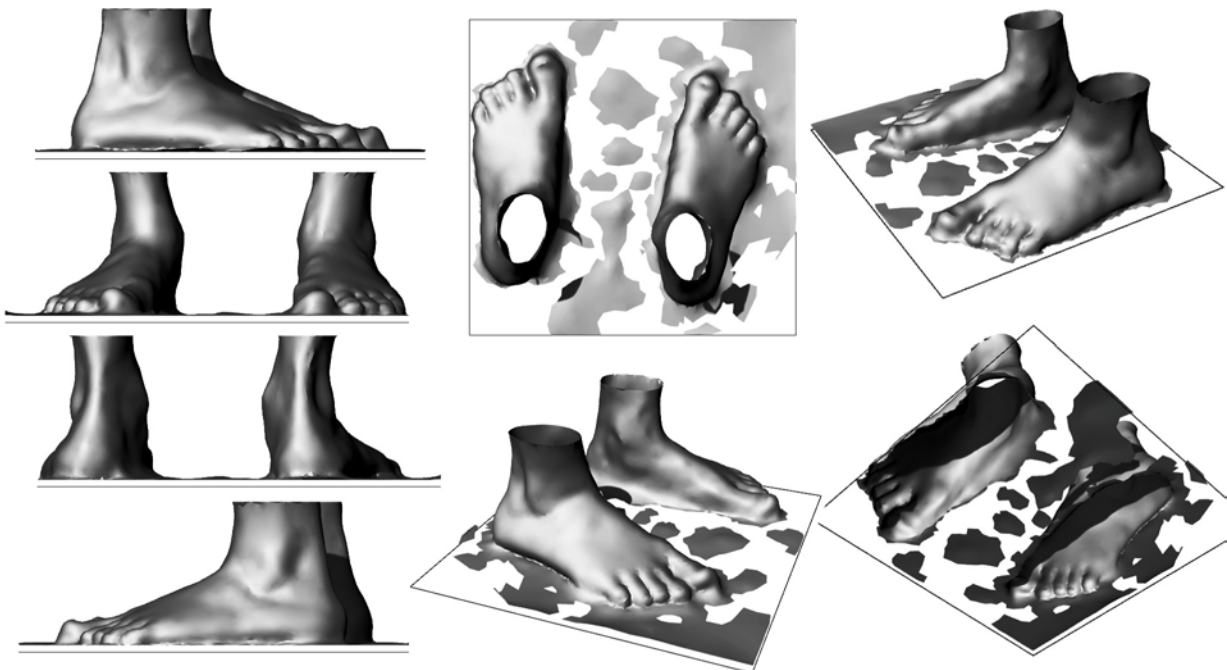
Com a versão de teste do aplicativo Polycam foi realizado um escaneamento por fotogrametria dos pés posicionados sobre o chão, o que limitou a fidelidade do modelo tridimensional obtido. Apesar de não ser um método tão preciso quanto a varredura a laser, o modelo tridimensional obtido por fotogrametria, que utilizou 160 (cento e sessenta) imagens, mostrou-se satisfatório para a concepção da anatomia superior dos pés. A anatomia da sola do pé não foi capturada. A figura 110 apresenta a interface do aplicativo Polycam nas etapas de processamento das imagens obtidas e visualização e edição do modelo tridimensional gerado pelo referido aplicativo.

Figura 110: Interface do aplicativo Polycam



Fonte: aplicativo Polycam. elaborado pelo autor.

A figura 111 mostra diversos ângulos do modelo tridimensional dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7. Na imagem é possível observar que, devido ao método de escaneamento utilizado, algumas partes do chão aparecem unidas aos pés.

Figura 111: Modelo tridimensional dentro do *software* Rhinoceros 3D.

Fonte: elaborado pelo autor.

Fita Métrica

Com o auxílio da fita métrica, baseando-se nas diretrizes apontadas por Menin (2009), foram obtidas 22 (vinte e duas) dimensões de cada pé (esquerdo e direito). A tabela 6 apresenta os respectivos valores para distâncias, larguras, perímetros e alturas dos pés; numerados e nomeados. As medições realizadas, principalmente as distâncias entre o Calcâneo e o Dedo 1, serviram de base para o dimensionamento dos modelos tridimensionais dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7.

Tabela 6: Medidas obtidas a partir da fita métrica

Nº	MEDIDA	PÉ ESQUERDO (cm)	PÉ DIREITO (cm)
			(continua)
1	Distância Calcâneo - Dedo 1	22,1	21,8
2	Distância Calcâneo - Dedo 5	18	17,5
3	Distância Calcâneo - Peito do Pé	15	16
4	Perímetro dos Dedos	20,5	20
5	Perímetro da região Metatarsofalangeana	21,5	21
6	Perímetro do Peito	21,5	21
7	Perímetro do Tornozelo	21	20,2
8	Largura dos Dedos	8,8	8,5
9	Largura da região Metatarsofalangeana	8,8	8,5
10	Largura do Calcâneo	5,6	5,9
11	Altura do Dedo 1	2,5	2,5
12	Altura do Dedo 5	2	2
13	Altura da região da região Metatarsofalangeana do Dedo 1	3,5	3,5
14	Altura do Peito	6,5	6,5
15	Altura do Maléolo Medial	7	7

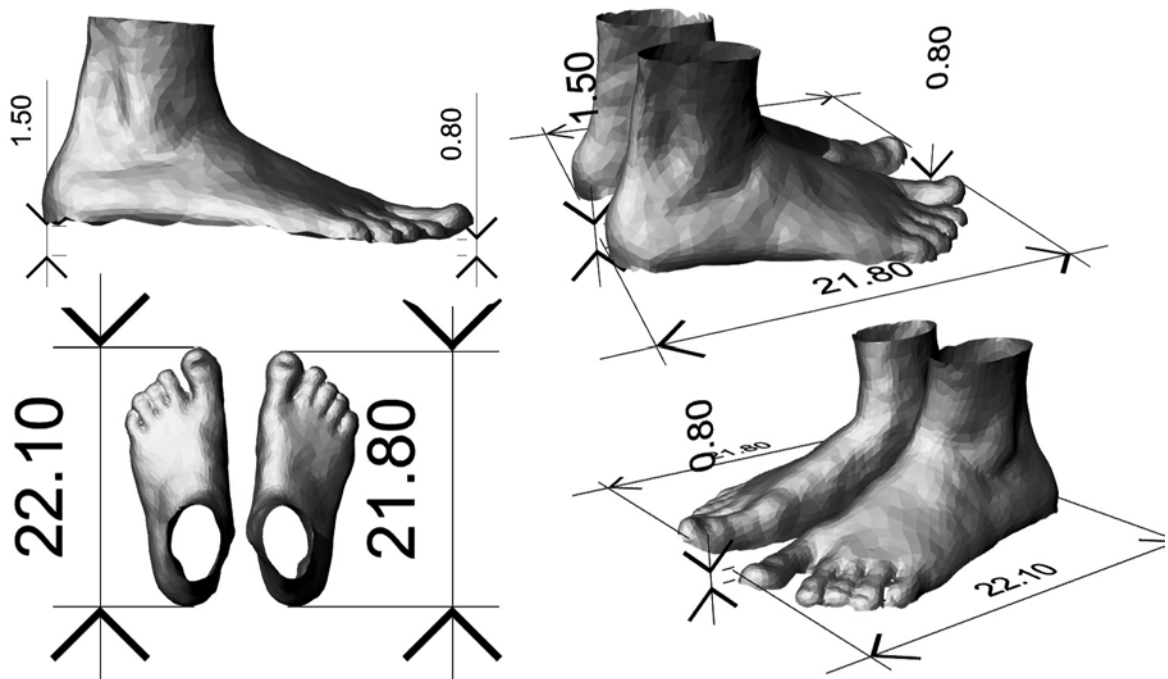
Tabela 6: Medidas obtidas a partir da fita métrica

Nº	MEDIDA	PÉ ESQUERDO (cm)	PÉ DIREITO (cm)
			(conclusão)
16	Altura do Maléolo Lateral	6,5	6,5
17	Ponto Inferior do Maléolo Medial	6,5	6,5
18	Ponto Inferior do Maléolo Lateral	5	5
19	Altura do Calcânhar	6	6
20	Chave Menor	29,1	29,1
21	Chave Média	32	32
22	Chave Maior	37,5	37

Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 112 apresenta os modelos tridimensionais refinados, modificados e cotados dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7. O refinamento foi realizado a fim de remover as partes do chão que foram escaneadas e acabaram se unindo com os pés na hora do escaneamento. As modificações referem-se às elevações do bico (0,8 cm), elevação do calcânhar (1,5 cm) e ao alinhamento e posicionamento dos modelos tridimensionais. As cotas demonstram as elevações do bico e do calcânhar, bem como o comprimento de cada pé (22,1 cm para o esquerdo e 21,8 cm para o direito).

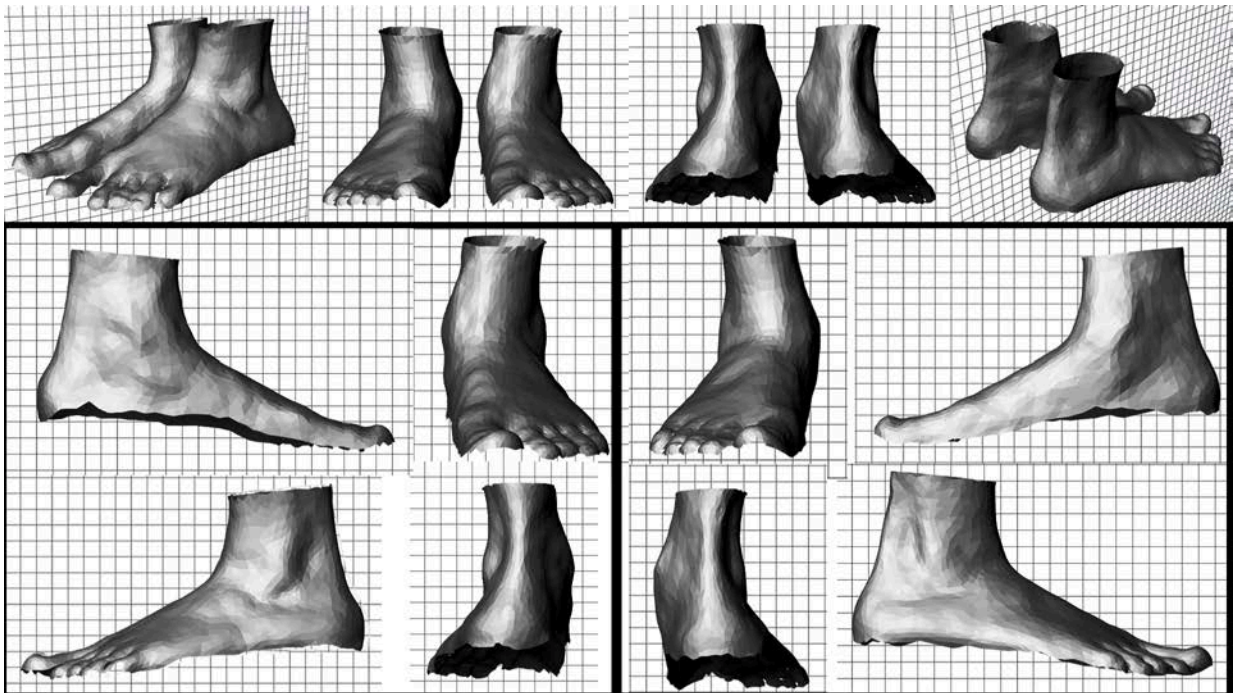
Figura 112: Modelo tridimensional escaneado, refinado, modificado e cotado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 113 mostra diferentes perspectivas dos modelos tridimensionais sobre um plano quadriculado dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7. Na porção superior da imagem observa-se ambos modelos (pé esquerdo e direito) juntos, nas vistas frontal, traseira e também em duas perspectivas anguladas, frontal/esquerda e traseira/direita. Na porção central e inferior os modelos estão apresentados separados, com o pé esquerdo à esquerda da imagem e o pé direito à direita da imagem. Os modelos separados estão representados nas vistas ortogonais frontal, traseira e laterais esquerda e direita.

Figura 113: Vistas ortogonais e em perspectiva dos modelos tridimensionais

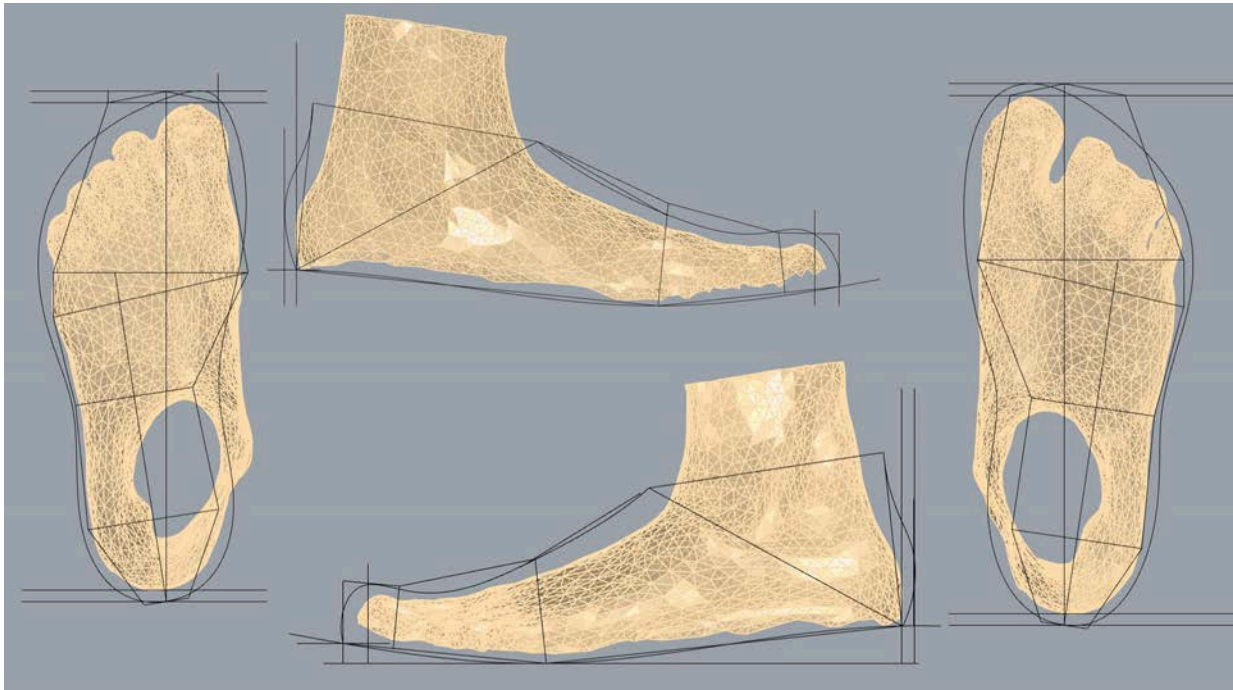


Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenho Geométrico de Perfil de Forma e Palmilha

Sobre os modelos tridimensionais foram desenhados geometricamente o perfil e a palmilha da forma a ser desenvolvida. Os desenhos do perfil e da palmilha foram feitos de acordo com as técnicas apresentadas anteriormente. A figura 114 apresenta as linhas resultantes do processo, em preto, sobre os modelos tridimensionais, em bege. Nas porções esquerda e central superior da imagem observam-se os desenhos referentes à palmilha e ao perfil da forma para o pé esquerdo. Nas demais partes da imagem, porções central inferior e direita, estão representados os desenhos referentes ao perfil e palmilha da forma, respectivamente. Ainda na figura 114, pode-se perceber que os desenhos geométricos das palmilhas foram adequados ao formato dos modelos tridimensionais dos pés, principalmente no que diz respeito às larguras do calcanhar, dedos e região metatarsofalangeana.

Figura 114: Desenhos geométricos de palmilha e perfil de forma sobre os modelos tridimensionais.



Fonte: elaborado pelo autor.

Forma

A partir dos desenhos geométricos descritos e mostrados no parágrafo anterior, foram desenhadas também as chaves, baseadas nas informações obtidas e apresentadas anteriormente. O perímetro dos tornozelos é conectado aos respectivos perfis de palmilha pelas linhas do perfil de forma. Levando em conta o formato específico dos pés escaneados, foram desenhadas também outras linhas, que contornam os modelos tridimensionais, para definir o formato das formas em partes específicas, como as regiões do quinto dedo, da articulação metatarsofalangeana do primeiro dedo e da região medial sob os maléolos. A figura 115, na porção esquerda, mostra a “caixa” formada por estas linhas, em preto, ao redor dos modelos tridimensionais, em bege, e também apenas as linhas. Na porção direita da figura 115 são apresentadas as formas resultantes do processo, de cor verde, estão apresentadas em duas vistas angulares, uma mais frontal e outra retratando a região traseira das formas desenvolvidas.

Figura 115: Linhas adicionais e as formas desenvolvidas.

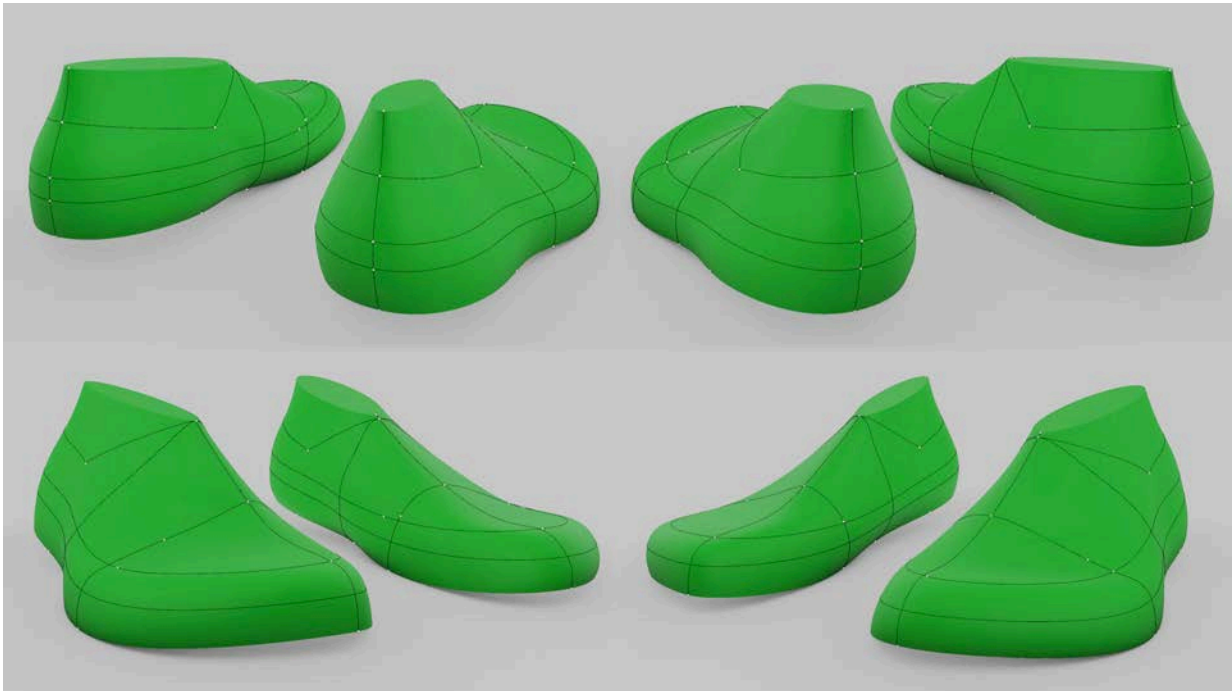


Fonte: Desenvolvido pelo autor

Linhas Básicas de modelagem

Com as formas desenvolvidas, foram projetadas sobre elas as linhas básicas de modelagem, seguindo as diretrizes expostas previamente. A figura 116 apresenta as formas de ambos pés, em verde, sobre as quais estão projetadas as linhas básicas de modelagem, em preto. Na figura (116) pode-se observar as formas com as linhas em quatro ângulos diagonais distintos; Na porção superior estão os ângulos que enfatizam a parte traseira das formas, enquanto que na porção inferior estão os ângulos que enfatizam a parte frontal das formas desenvolvidas.

Figura 116: Linhas Básicas de Modelagem projetadas sobre as Formas.



Fonte: desenvolvido pelo autor

Modelagem prévia

Para otimizar o processo de modelagem do protótipo final e reduzir a necessidade de ajustar os componentes, devido a interferência de outra parte do modelo, foi desenvolvido, dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7, um protótipo digital prévio. Esta prévia consiste apenas no calçado direito e é apresentada em dois ângulos na figura 117.

Figura 117: Modelagem prévia

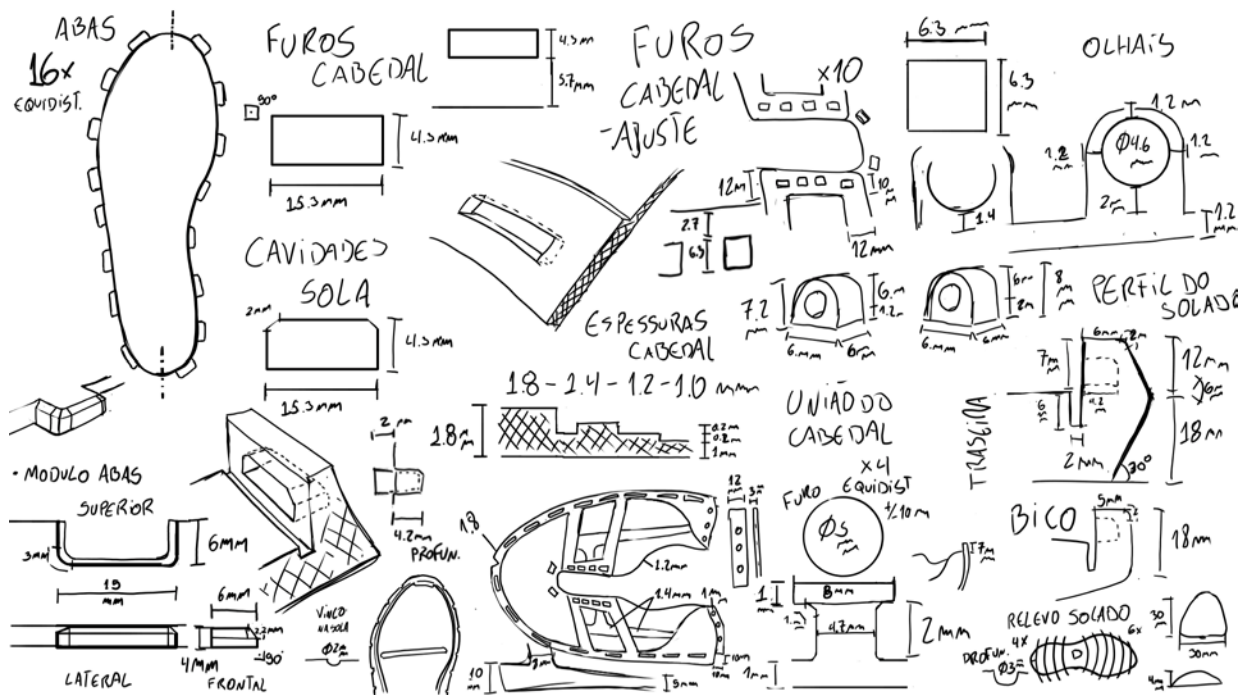


Fonte: desenvolvido pelo autor.

Diretrizes de Modelagem

A partir da modelagem prévia o autor compilou as informações relevantes em uma imagem para acessá-las durante a modelagem do protótipo final. A imagem 118 apresenta as anotações feitas pelo autor durante a modelagem prévia. Como esta imagem (118) foi desenvolvida apenas para a consulta do próprio autor, as informações foram dispostas na imagem de maneira aleatória, mas é possível observar valores como espessuras, diâmetros, entre outras medidas anotadas próximas às ilustrações das diferentes partes.

Figura 118: Anotações feitas durante a modelagem prévia



Fonte: elaborado pelo autor

Apesar desta prévia, algumas medidas foram ainda alteradas conforme a necessidade durante a modelagem do protótipo final, que será demonstrada e descrita nos itens a seguir.

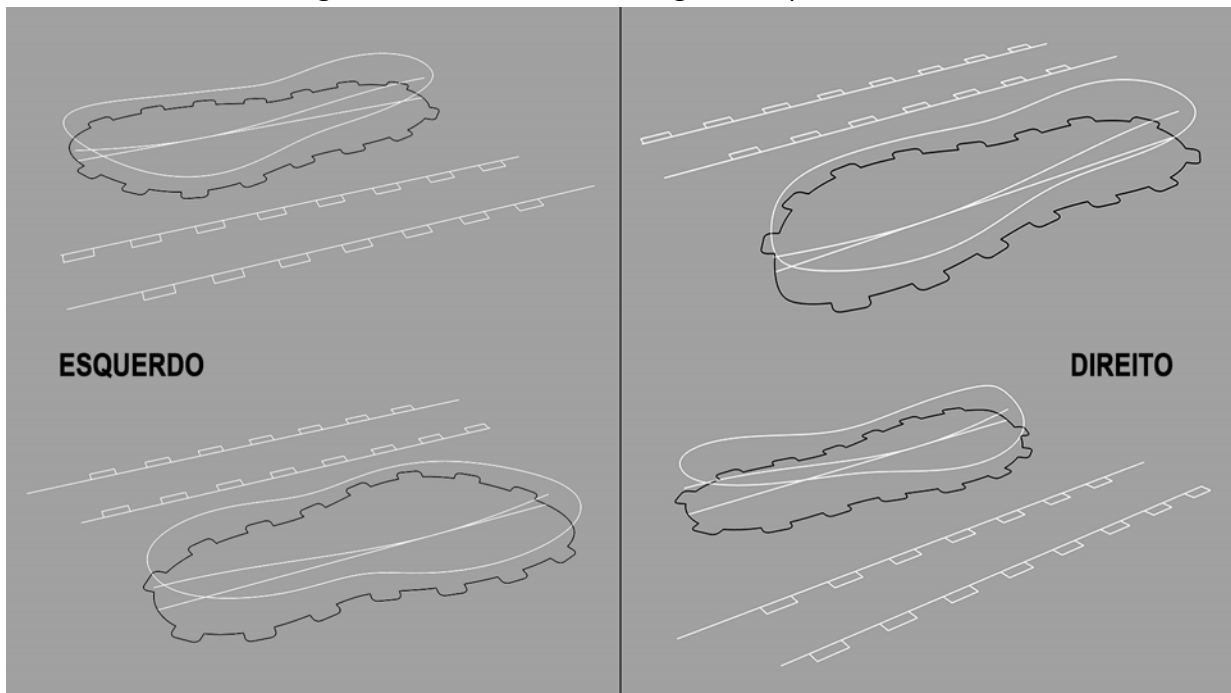
Modelagem

A modelagem do protótipo final, apresentada a partir deste item, consiste no detalhamento dos respectivos processos de modelagem para as palmilhas, cabedais, ajustes, fitas de união e solados para ambos pés, dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7.

Palmilha

A Palmilha representa o primeiro módulo do calçado, onde estão localizadas as abas que transpassam o cabedal e se alojam na cavidade interna presente no solado. A figura 119 apresenta as linhas utilizadas para a modelagem das palmilhas, incluindo as linhas planas utilizadas para dispor uniformemente as abas ao longo das bordas medial e lateral das palmilhas.

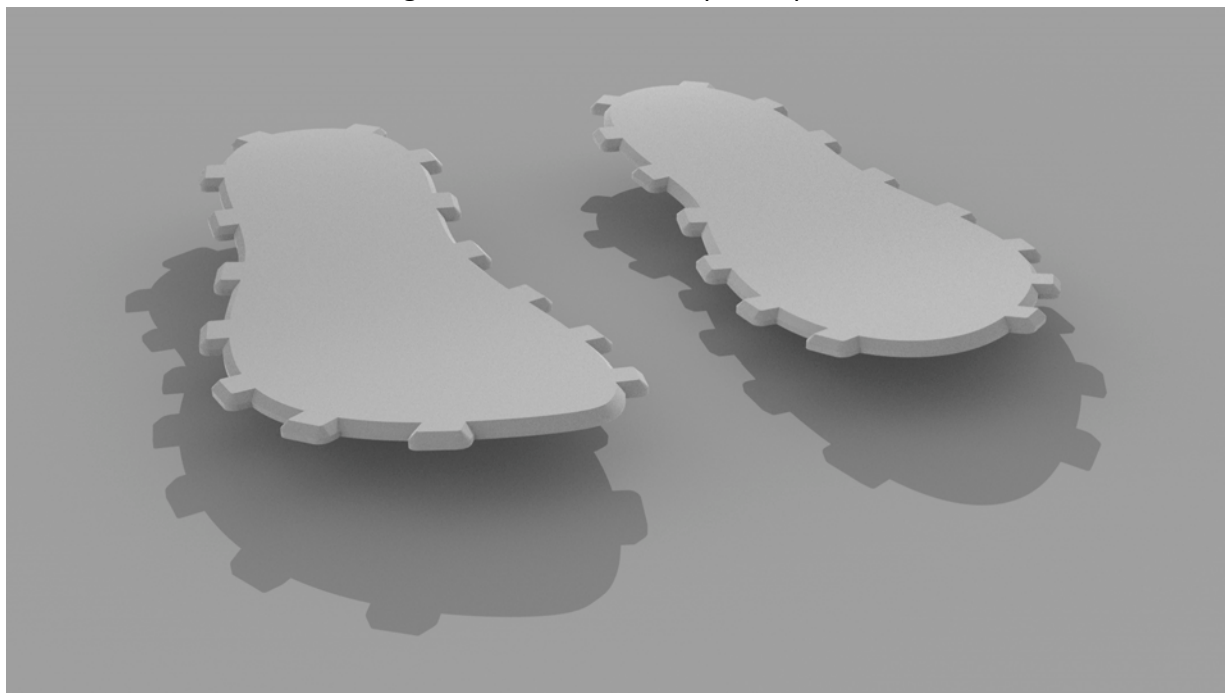
Figura 119: Linhas da modelagem das palmilhas



Fonte: elaborado pelo autor

O resultado da modelagem tridimensional das palmilhas do protótipo é apresentado na figura 120; nela, é possível observar as palmilhas de ambos pés em tom de cinza claro, sobre o fundo em tom de cinza mais escuro. Na figura (120) é possível observar que as palmilhas têm 8 (oito) abas nas porções laterais e 7 (sete) abas nas porções medial.

Figura 120: Palmilhas do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor

Cabedal

O cabedal representa o segundo módulo do protótipo de calçado desenvolvido e é composto por três partes distintas: O cabedal, o ajuste e a fita de união. A figura 121 mostra as superfícies base (extraídas a partir das formas) dos cabedais e ajustes para os dois pés. Na figura (121) é possível observar os furos retangulares nas laterais, próximo a base, por onde passam as abas da palmilha; os furos quadrados na região superior, por onde passam os olhais dos ajustes; e os furos circulares na região traseira, por onde passam os pinos que serão fixados pela fita de união.

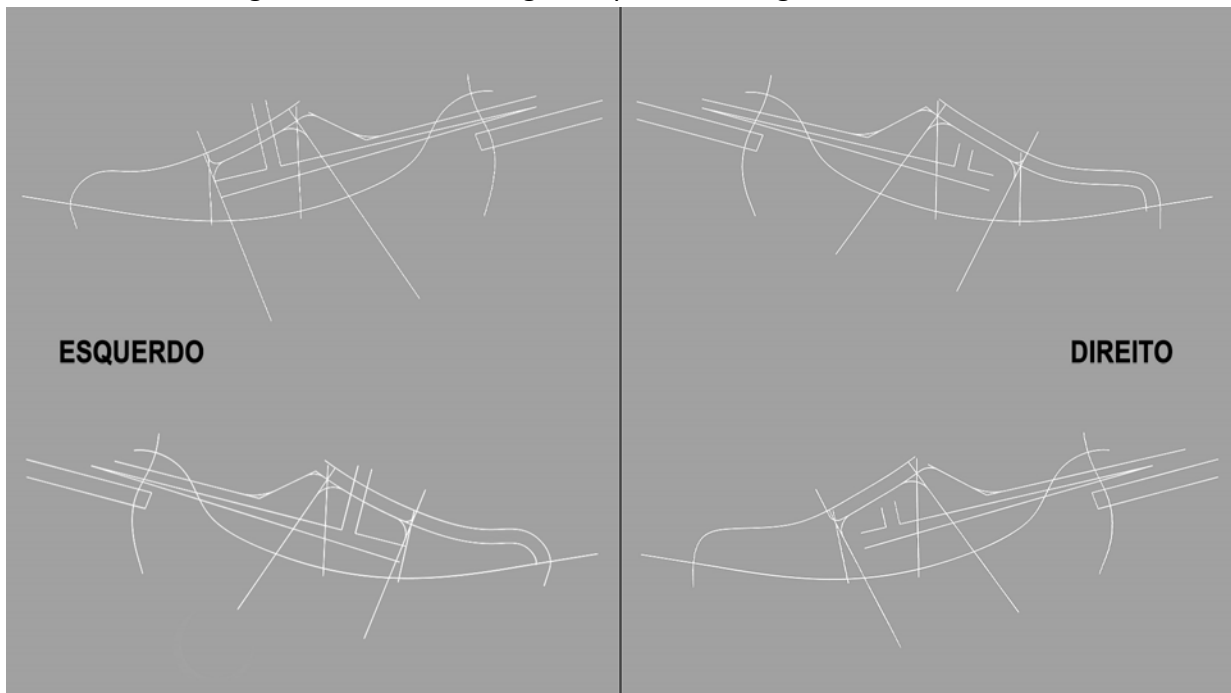
Figura 121: Superfície-base dos cabedais e ajustes.



Fonte: elaborado pelo autor

Com as superfícies-base, recortadas a partir das formas, iniciou-se o processo de desenho das linhas que delimitam os relevos do cabedal. As linhas iniciais foram traçadas em vistas ortogonais para ambos os lados, medial e lateral, para os dois pés, como pode ser observado na figura 122. Na figura (122) vê-se as linhas ortogonais, em branco, sobre um fundo cinza com a indicação textual do pé referente, esquerdo e direito.

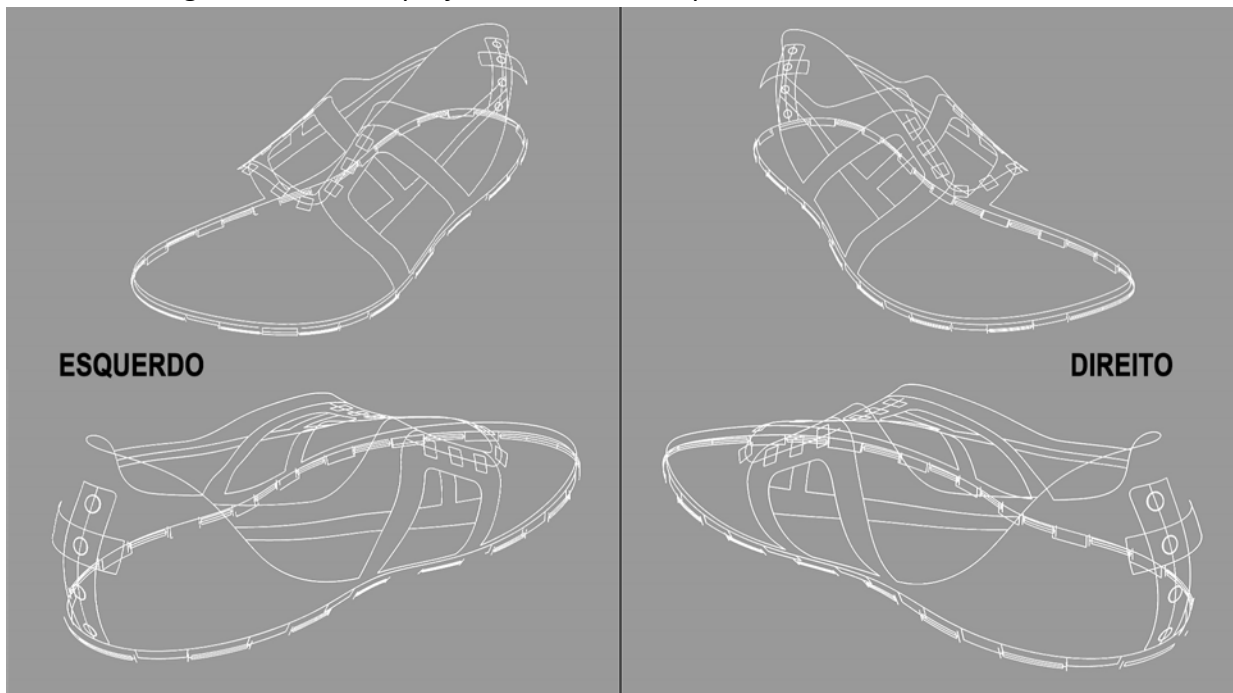
Figura 122: Linhas ortogonais para modelagem do cabedal



Fonte: elaborado pelo autor

Com as linhas ortogonais traçadas, o passo seguinte consistiu em projetá-las sobre as superfícies-base dos cabedais referentes aos pés direito e esquerdo. O resultado das projeções foram trabalhados (aparados, desviados etc.) com objetivo de dar o formato final dos relevos presentes no cabedal do protótipo desenvolvido. A figura 123 apresenta o resultado das projeções e edições das linhas projetadas; Na figura (123) é possível observar as linhas projetadas, em branco, sobre um fundo cinza em dois ângulos distintos para cada pé. Os pés referentes, direito e esquerdo, estão separados por uma linha vertical no centro e indicados textualmente nas extremidades laterais da imagem.

Figura 123: Linhas projetadas sobre as superfícies-base dos cabedais



Fonte: elaborado pelo autor

O resultado da modelagem tridimensional dos cabedais é apresentado na figura 124, onde é possível observar o cabedal de ambos pés, direito e esquerdo, com suas variações de espessura e as abas extras, localizadas próximo aos furos na base dos modelos.

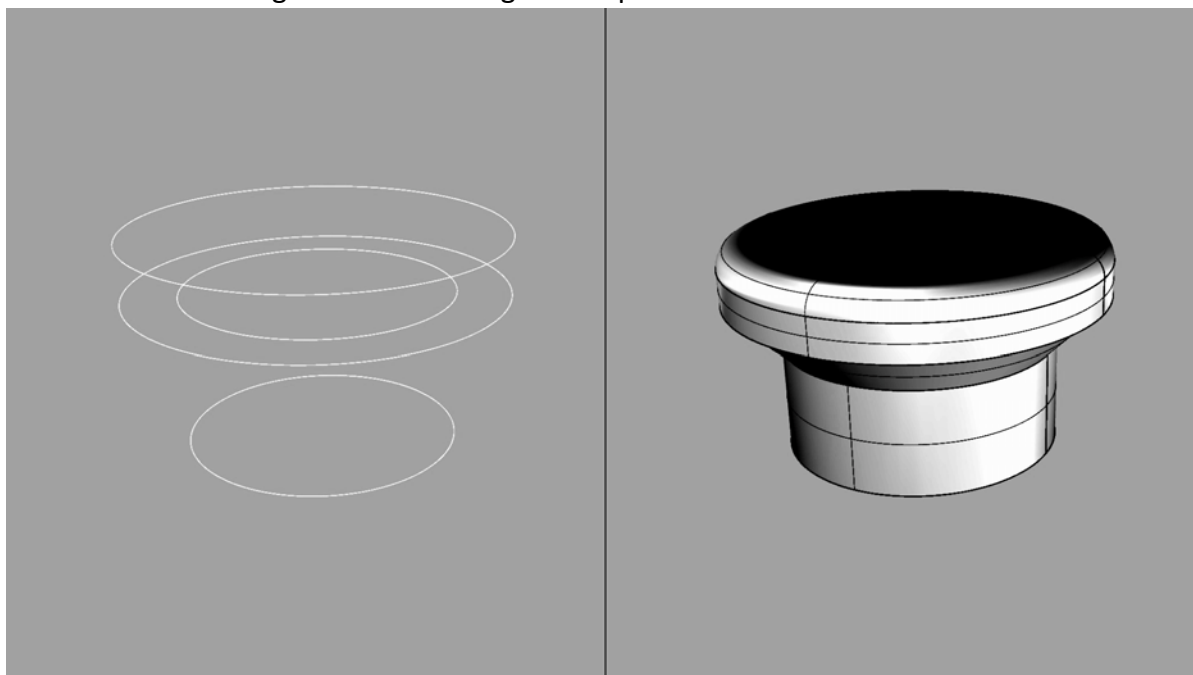
Figura 124: Cabedais do Protótipo



Fonte: elaborado pelo autor

Os pinos desenvolvidos, responsáveis por unir as extremidades traseiras do cabedal, estão apresentados em detalhe na figura 125; onde é possível observar, sobre um fundo cinza e separados por uma linha vertical no centro, as linhas utilizadas para a modelagem, em branco à esquerda, e o resultado da modelagem tridimensional, em cinza à direita da imagem (figura 125).

Figura 125: Modelagem dos pinos de união do cabedal

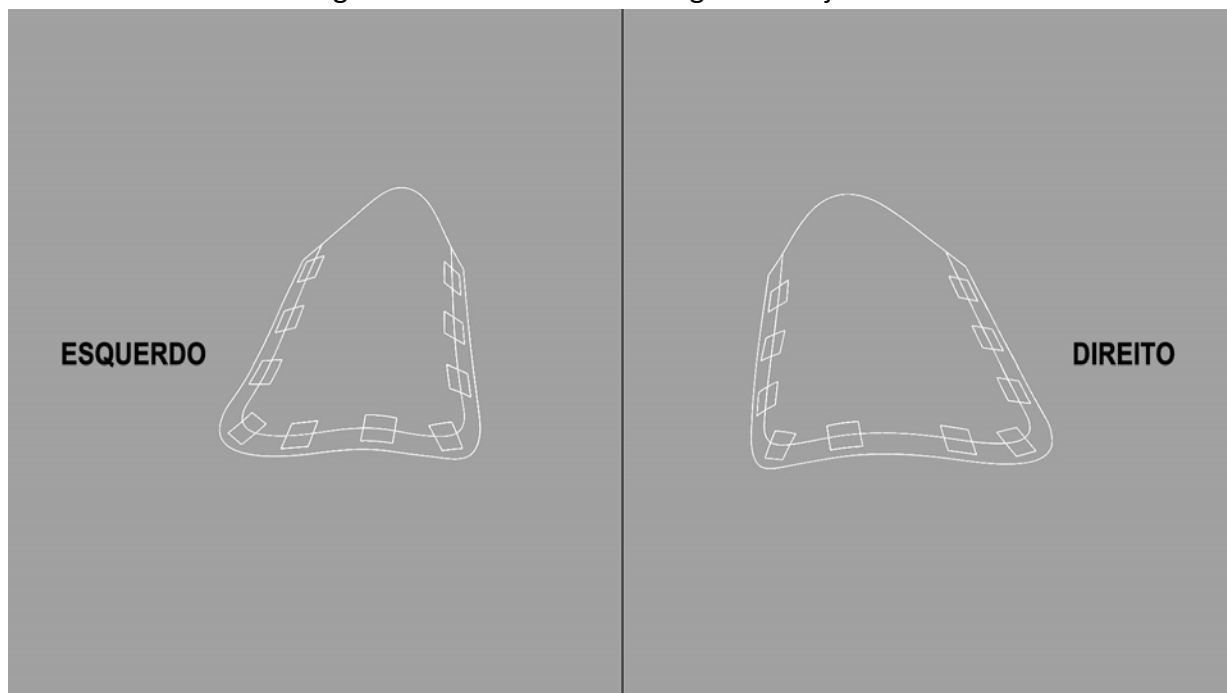


Fonte: elaborado pelo autor

Ajuste

O ajuste consiste em uma das partes do cabedal, a qual cobre o dorso dos pés; e possui olhais que transpassam a peça principal, unindo-se a esta. Os olhais, após posicionados, são travados no Cabedal através de um fio que passa internamente por seus orifícios. A figura 126 apresenta as linhas utilizadas para a modelagem tridimensional dos ajustes e posicionamento uniforme dos olhais para os dois pés. Na figura (126) observa-se as linhas, em branco, sobre um fundo cinza, uma divisão vertical no centro e a indicação dos respectivos pés, esquerdo e direito, nas extremidades laterais, próximo às linhas.

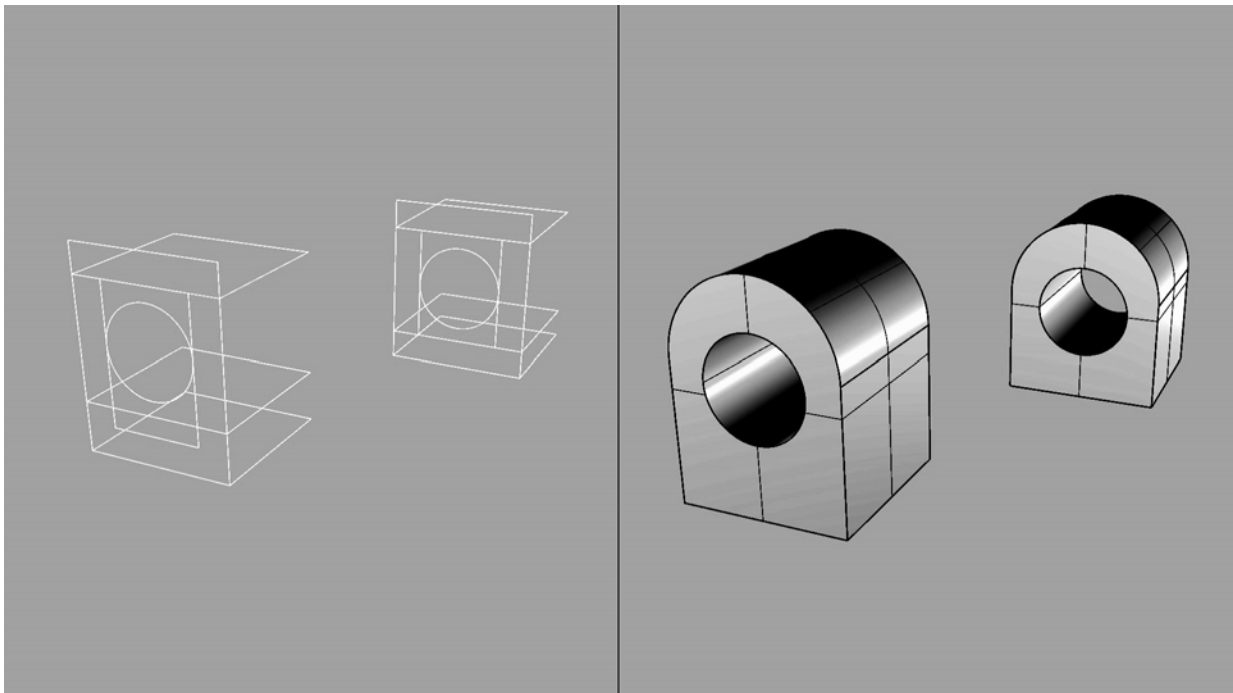
Figura 126: Linhas de modelagem dos Ajustes



Fonte: elaborado pelo autor

Os olhais foram desenvolvidos com duas diferentes espessuras sob os orifícios, de maneira que, após posicionados, os orifícios fiquem corretamente posicionados acima da superfície da base do cabedal, a qual também possui espessuras diferentes. A figura 127 mostra, à esquerda, em branco, as linhas utilizadas para a modelagem dos olhais; e à direita, em cinza, o resultado da modelagem tridimensional dos olhais, onde é possível observar a diferença de espessura sob os olhais, citada anteriormente.

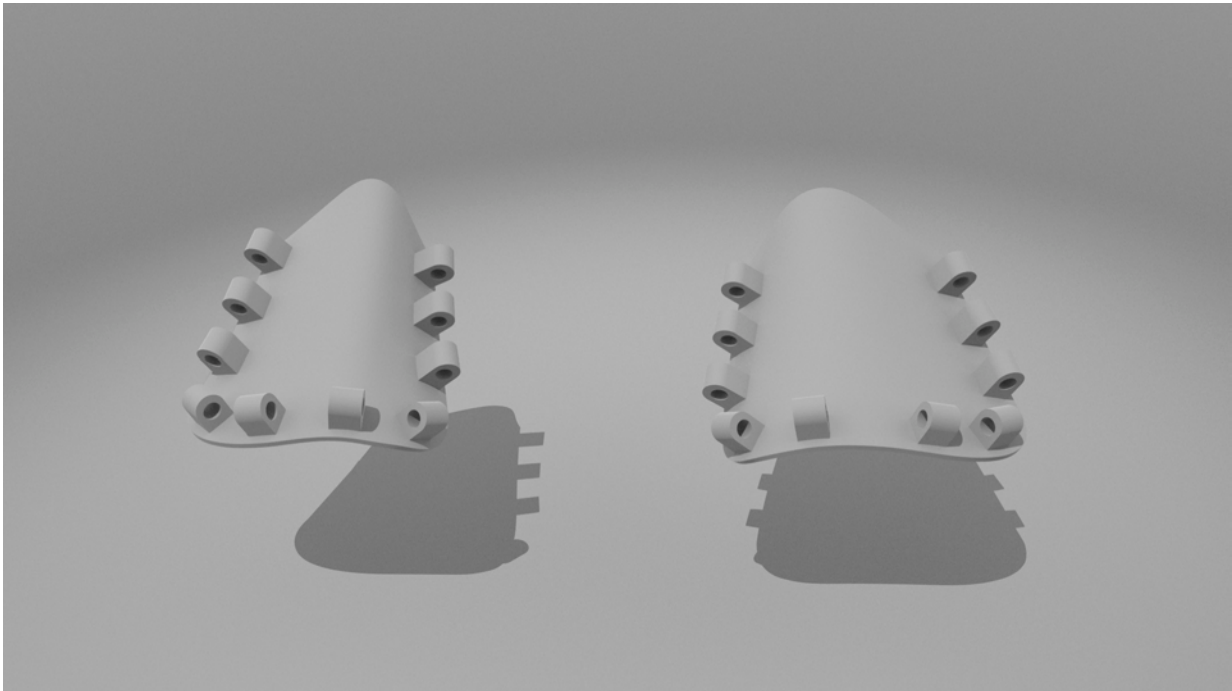
Figura 127: Linhas e resultado da modelagem dos olhais



Fonte: elaborado pelo autor

O resultado da modelagem tridimensional dos ajustes, com os olhais corretamente posicionados na superfície, é apresentado em uma perspectiva frontal em tom de cinza, sobre um fundo também cinza, na figura 128. Na figura (128) é possível observar a espessura da superfície base e uma leve variação das dimensões entre os ajustes de para cada pé, esquerdo e direito.

Figura 128: Ajustes do protótipo final

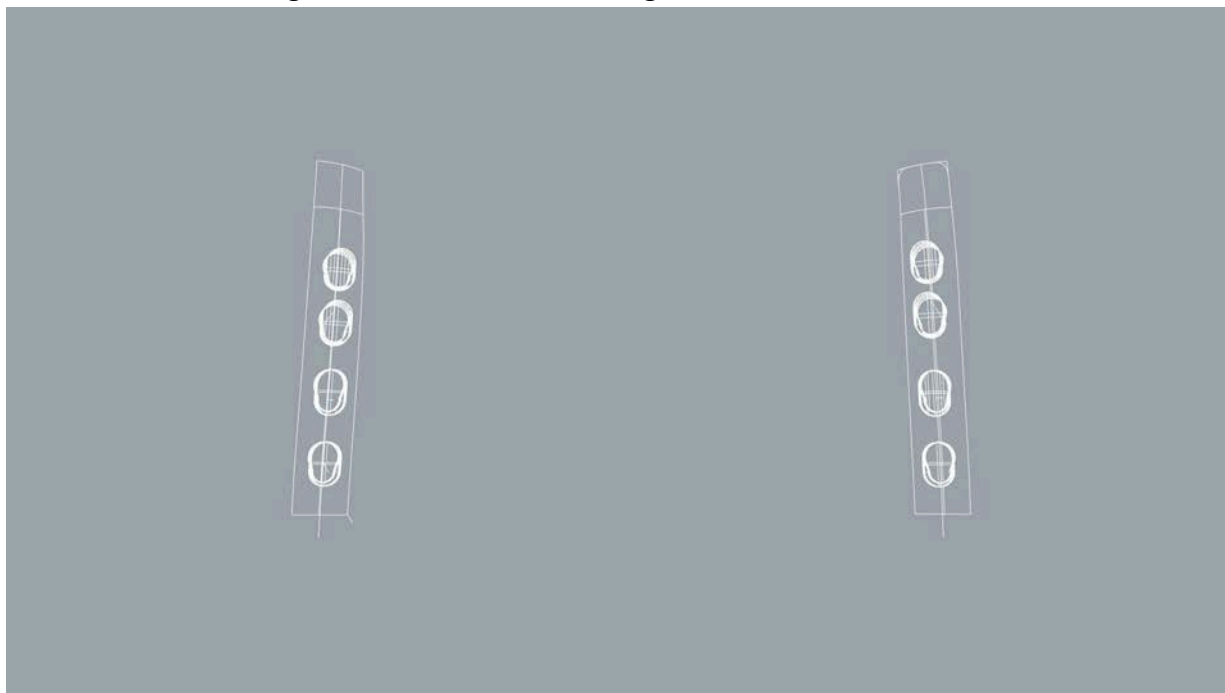


Fonte: elaborado pelo autor

Fita de união

A Fita de união representa a terceira e última parte do Cabedal, a qual envolve os Pinos, presentes na parte traseira do cabedal, e realiza a função de travá-los na posição ideal a partir de um pequeno deslizamento vertical, possibilitado pelo formato dos orifícios localizados na Fita. A figura 129 apresenta as linhas, em branco sobre um fundo cinza, utilizadas para a modelagem das fitas dentro do software Rhinoceros 3D versão 7.

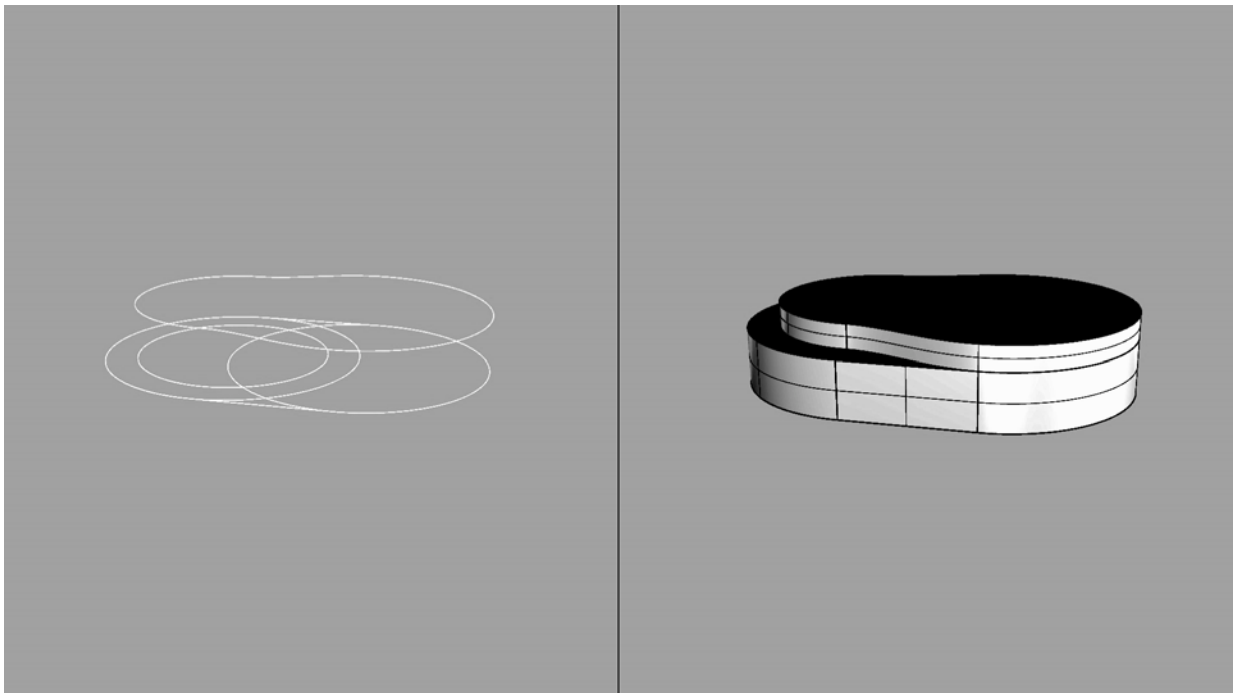
Figura 129: Linhas de modelagem das Fitas de União



Fonte: elaborado pelo autor

Os orifícios presentes na Fita, citados anteriormente, possuem um formato oval com um recorte especial em uma das faces. Este recorte é responsável por travar os Pinos no local adequado, utilizando da variação de espessura entre o “corpo” e a “cabeça” dos pinos do Cabedal. Os orifícios foram modelados separadamente, posicionados e subtraídos da Fita. A figura 130 apresenta as linhas de modelagem dos orifícios, em branco à esquerda, e o resultado da modelagem em cinza à direita, separados por uma linha vertical no centro da imagem.

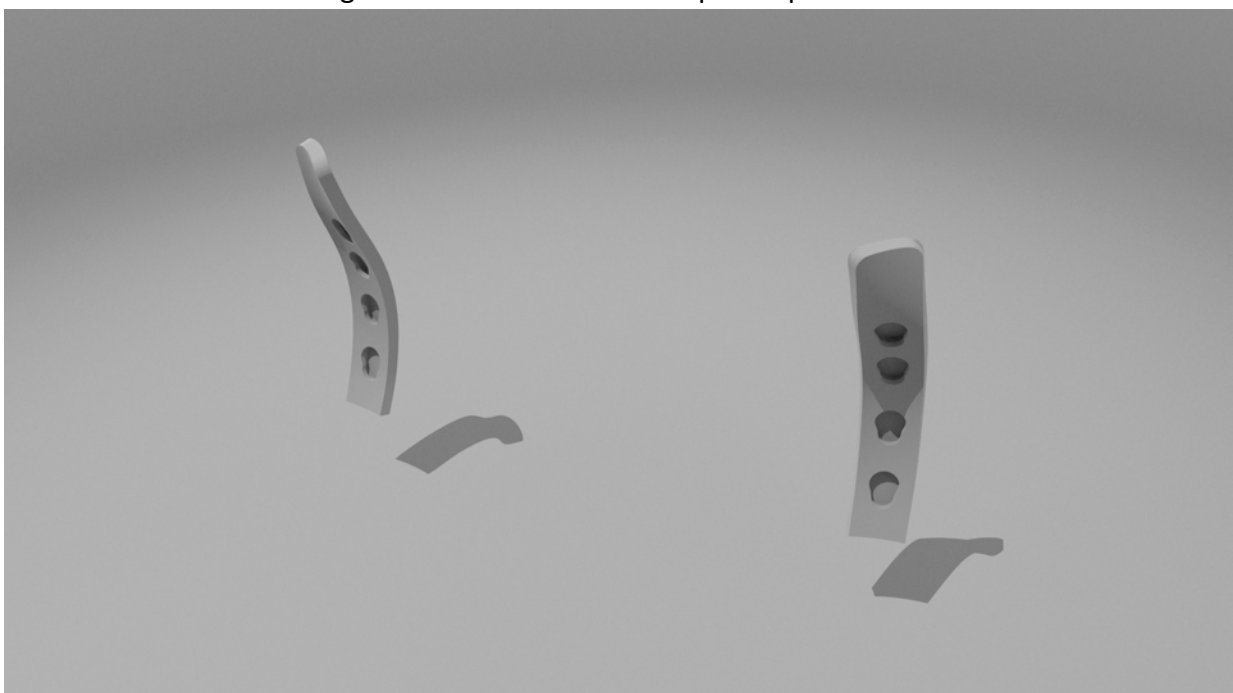
Figura 130: Linhas e resultado da modelagem dos orifícios da Fita de União



Fonte: elaborado pelo autor

O resultado da modelagem tridimensional das Fitas de União, com os orifícios subtraídos, é apresentado na figura 131. A figura (131) mostra uma perspectiva das fitas de ambos os pés, esquerdo e direito, em cinza sobre um fundo cinza.

Figura 131: Fitas de união do protótipo final

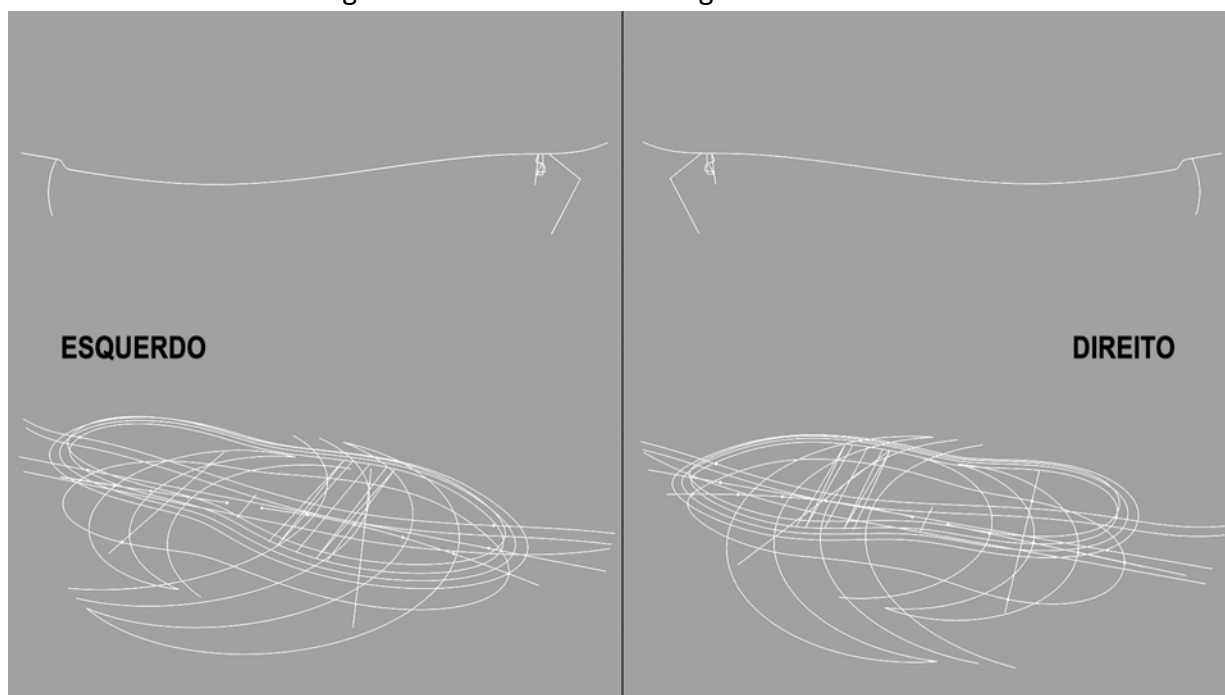


Fonte: elaborado pelo autor.

Solado

O Solado representa o terceiro módulo do protótipo desenvolvido, o qual abriga as abas da palmilha e do cabedal e mantém a fita de união na posição correta, impedindo que esta deslize e se desprenda dos pinos de união do cabedal. A figura 132 mostra, em branco sobre um fundo cinza, as linhas utilizadas para a modelagem do Solado dentro do *software* Rhinoceros 3D versão 7. A figura (132) apresenta as linhas de modelagem para ambos os pés, divididos por uma linha vertical no centro e com indicação textual dos pés referentes nas extremidades laterais da imagem. Na porção superior da referida figura (132) encontram-se as linhas referentes aos perfis interno e externo do Solado; enquanto que na porção inferior encontram-se as linhas referentes aos contornos, elevações e relevos, ou rebaixos, da parte inferior da sola desenvolvida.

Figura 132: Linhas de modelagem do Solado

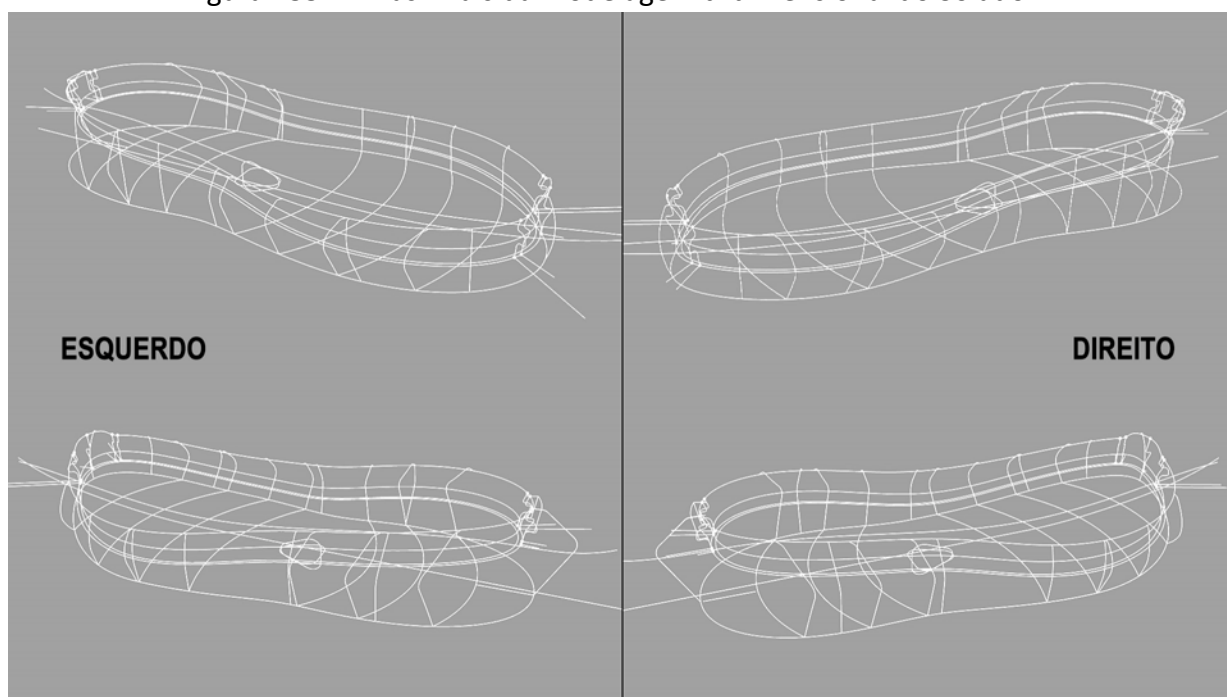


Fonte: elaborado pelo autor

A partir das linhas demonstradas na figura anterior (133), foi criado o formato base do Solado, onde pode-se complementar, suavizar e posicionar corretamente as linhas referentes aos perfis interno e externo, bem como projetar as linhas dos relevos sobre as superfícies lateral e inferior. A figura seguinte, figura 133, mostra o resultado das linhas posicionadas, projetadas e suavizadas, as quais deram formato final ao solado do protótipo.

Na figura 133 observa-se, em ângulos distintos e em branco sobre um fundo cinza, as linhas referentes ao formato final do solado dos dois pés, os quais estão divididos por uma linha central e textualmente indicados quanto ao pé referente, esquerdo e direito, nas extremidades laterais da imagem.

Figura 133: Linhas finais da modelagem tridimensional do Solado



Fonte: elaborado pelo autor

A figura 134 mostra, em cinza claro sobre um fundo cinza escuro, o resultado final da modelagem tridimensional dos solados de ambos os pés, esquerdo e direito. Na figura (134) é possível observar as cavidades nas laterais internas do Solado, bem como os relevos, nas laterais externas, e o espaço que abriga a fita de união, na região interna, próximo ao calcanhar.

Figura 134: Solados do protótipo final



Fonte: elaborado pelo autor

Renderização

Finalizada a descrição do processo de modelagem, foram renderizadas imagens que apresentam o resultado final da modelagem tridimensional. As renderizações apresentam o resultado final do calçado montado, utilizando materiais e cores que se assemelham ao resultado esperado após a impressão em 3D utilizando o método *FDM*. As renderizações são expostas a seguir, nas figuras 135 à 138.

Figura 135: Renderização do Protótipo - Imagem 1



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 136: Renderização do Protótipo - Imagem 2



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 137: Renderização do Protótipo - Imagem 3



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 138: Renderização do Protótipo - Imagem 4



Fonte: elaborado pelo autor

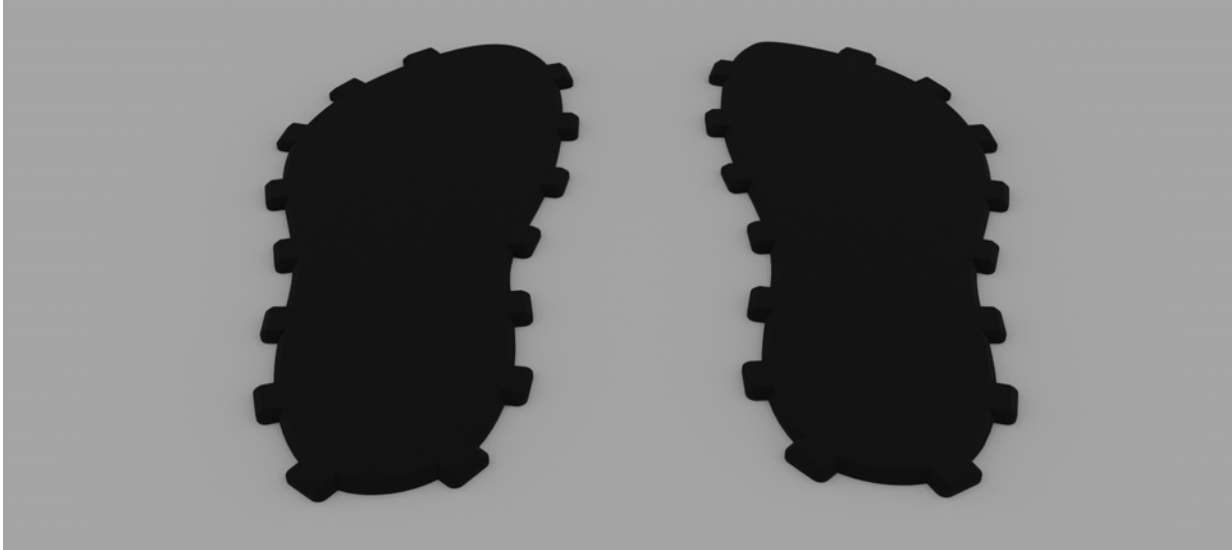
Planificação

Ao mesmo tempo em que se desenvolvia a modelagem tridimensional, apresentada nos itens anteriores, também desenvolveu-se a modelagem planificada, visando a impressão dos módulos do calçado em 3D utilizando o método *FDM*, evitando o desperdício de materiais e tempo durante o processo de impressão 3D. Todos os módulos foram planificados, com exceção do solado, a partir das ferramentas disponíveis no *software* Rhinoceros 3D versão 7. Os seis módulos do calçado planificados serão apresentados nos tópicos seguintes: Palmilha, Cabedal, Ajuste, Fita de União, Solado e Cadarço.

Palmilha

As palmilhas do protótipo final, planificadas para a impressão 3D em *FDM*, são apresentadas lado a lado na figura 139, em cor preta sobre um fundo cinza.

Figura 139: Palmilhas planificadas

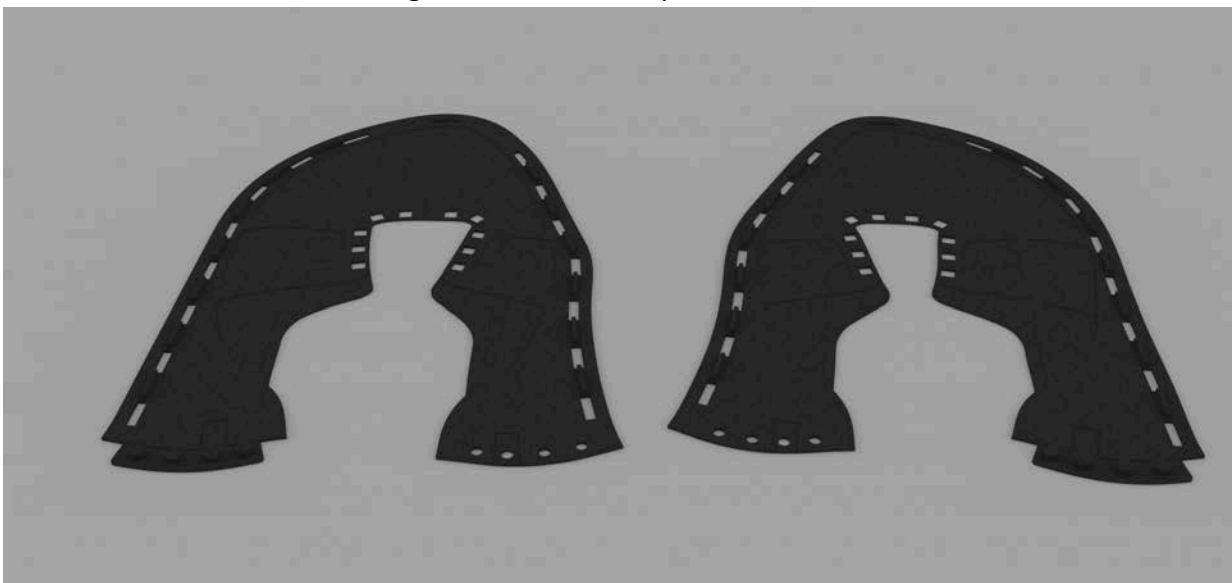


Fonte: elaborado pelo autor

Cabedal

Os Cabedais do protótipo final, planificados para a impressão 3D em *FDM*, são apresentados lado a lado na figura 140, em cor preta sobre um fundo cinza.

Figura 140: Cabedais planificados

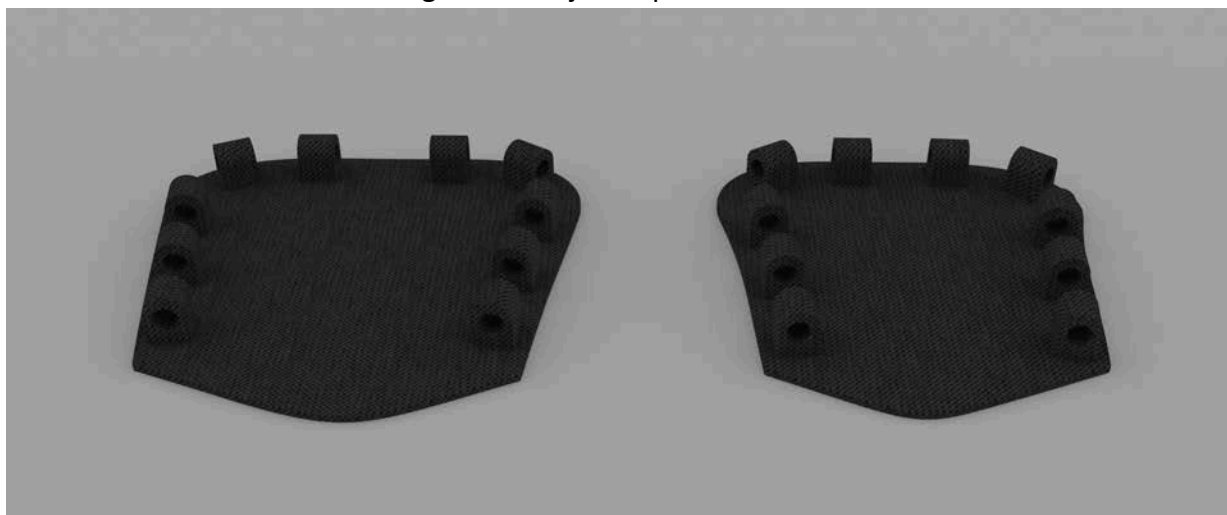


Fonte: elaborado pelo autor

Ajuste

Os ajustes do protótipo final, planejados para a impressão 3D em *FDM*, são apresentados lado a lado na figura 141, em cor preta sobre um fundo cinza.

Figura 141: Ajustes planejados

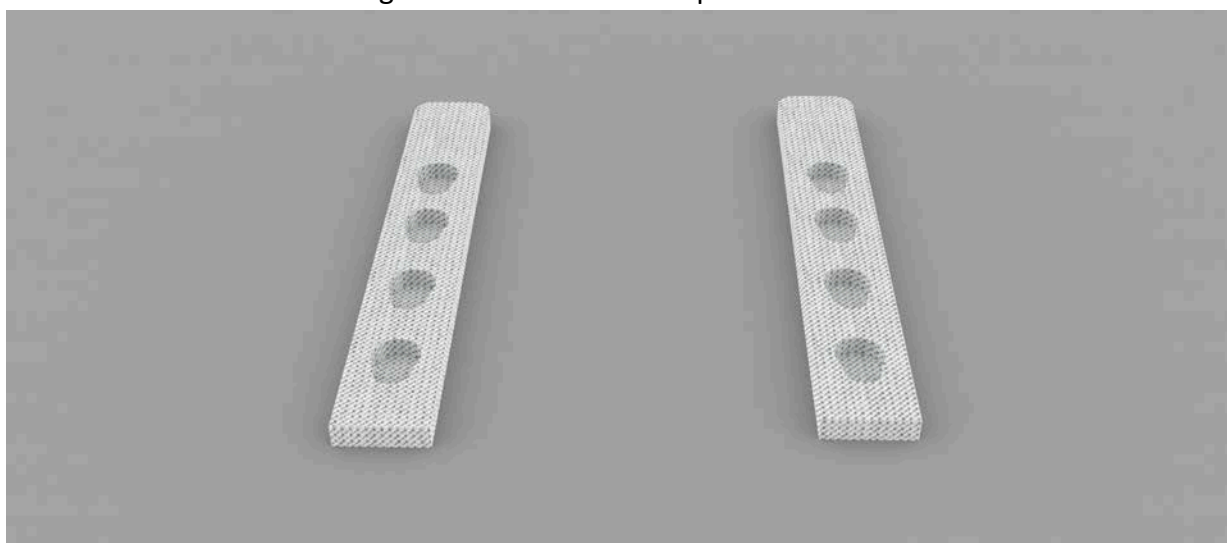


Fonte: elaborado pelo autor

Fita de união

As fitas de união do protótipo final, planejadas para a impressão 3D em *FDM*, são apresentadas lado a lado na figura 142, em cor branca sobre um fundo cinza.

Figura 142: Fitas de união planejadas

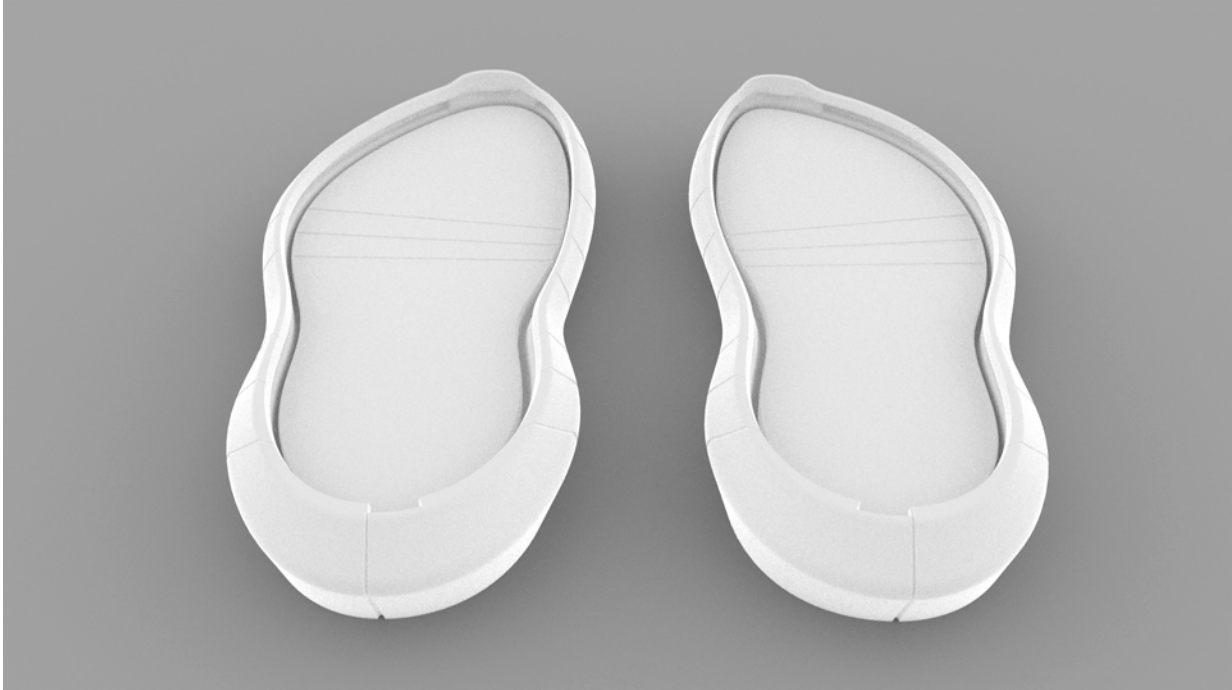


Fonte: elaborado pelo autor

Solado

Os solados do protótipo final são apresentados lado a lado na figura 143 em cor branca sobre um fundo cinza.

Figura 143: Solados

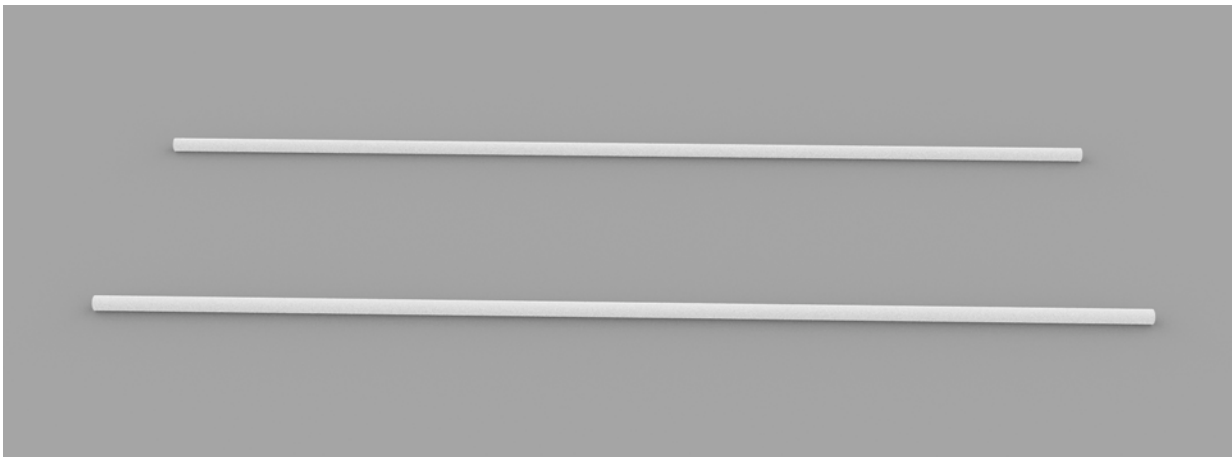


Fonte: elaborado pelo autor

Cadarço

Os cadarços do protótipo final, planificados para a impressão 3D em *FDM*, são apresentados lado a lado na figura 144, em cor branca sobre um fundo cinza.

Figura 144: Cadarços planificados



Fonte: elaborado pelo autor

Protótipo

Para a impressão do protótipo desenvolvido neste projeto o autor contou com o apoio fundamental dos professores, bolsistas e monitores do Laboratório Pronto 3D da UFSC. Este apoio possibilitou a impressão em 3D do protótipo em escala real, bem como de todos os testes desenvolvidos anteriormente, que, em uma alternativa privada, se tornaram inviáveis monetariamente devido ao elevado tempo de produção necessário. Este fator, porém, limitou o projeto na medida em que as impressões não eram realizadas pelo autor, e sim pelo monitor das disciplinas do curso de Design de Produto da UFSC, o qual possui suas obrigações com o laboratório e sua própria graduação, portanto seu tempo e atenção são limitados aos horários de monitoria. Por este motivo, as otimizações necessárias no protótipo não puderam ser visualizadas e avaliadas em tempo hábil para a realização ainda neste projeto, que conta apenas com sugestões para a otimização e correção do protótipo.

O protótipo do calçado para o pé esquerdo foi impresso em 3D pelo método *FDM* na impressora Ender Max Neo, com filamentos 3NFlex (TPU) nas cores preto e branco. A produção dos componentes do protótipo não foi presenciada pelo autor e não lhe fora relatado nenhum problema durante a impressão; o resultado é apresentado a seguir nas figuras 145 à 154. As figuras, imagens captadas pelo autor, consistem em fotos do protótipo impresso. Junto aos relatos fotográficos também há considerações sobre os resultados quanto à impressão e acabamentos; flexão e amortecimento; montagem e melhorias evidentes.

As descrições são feitas separadamente para cada um dos seis componentes: Palmilha, Cabedal, Fita de união, Solado, Ajuste e Cadarço; ao fim, o relato é feito na conjuntura de todo modelo. Os 6 módulos separados são apresentados na figura 145.

Figura 145: Módulos do protótipo

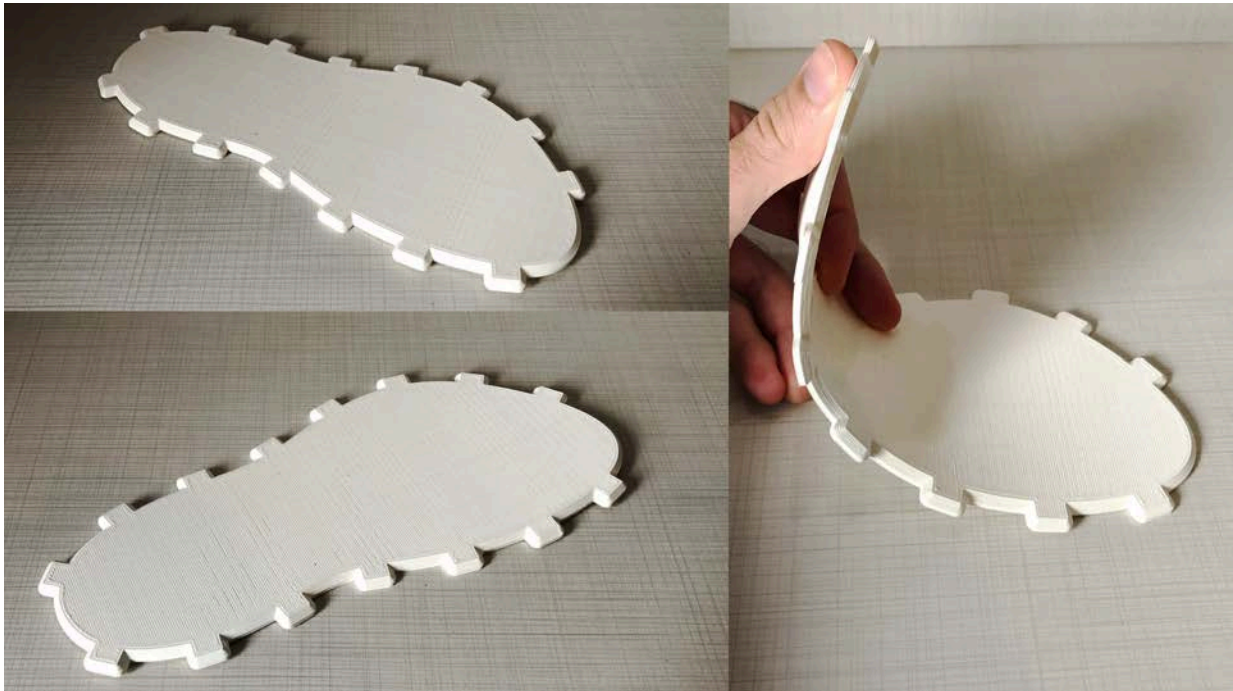


Fonte: elaborado pelo autor.

O resultado da impressão dos módulos foi considerado razoável pelo autor, apesar de nenhum relato por parte de quem operou a impressora durante o processo, notou-se a ausência de uma parte importante do Cabedal e algumas pequenas falhas no Solado, possivelmente ligadas ao formato dos modelos em relação ao método produtivo de deposição de camadas.

O primeiro módulo (Palmilha) é apresentado na figura 146; foi utilizado o filamento flexível branco para produção. A palmilha apresentou excelente acabamento superficial, boa flexibilidade e relativa capacidade de absorção de impacto.

Figura 146: Palmilha do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

O Cabedal do protótipo, apresentado na figura 147, foi impresso em filamento flexível preto sem as camadas superior e inferior, deixando aparente o padrão de preenchimento interno com a porcentagem determinada.

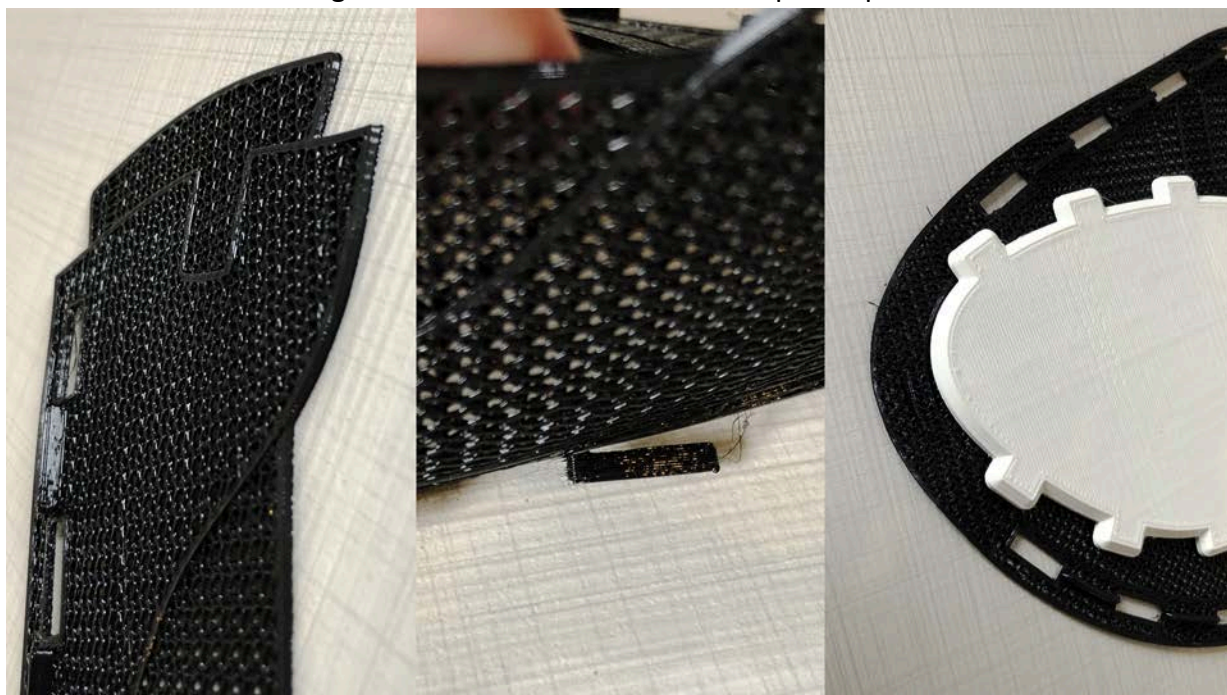
Figura 147: Cabedal do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Neste módulo (Cabedal), notou-se a ausência dos pinos de união que deveriam estar presentes na região do calcanhar, também uma fragilidade das abas presentes entre os furos e a desproporcionalidade entre as dimensões do bico entre o cabedal e a palmilha; estes detalhes podem ser vistos na figura 148.

Figura 148: Detalhes do Cabedal do protótipo



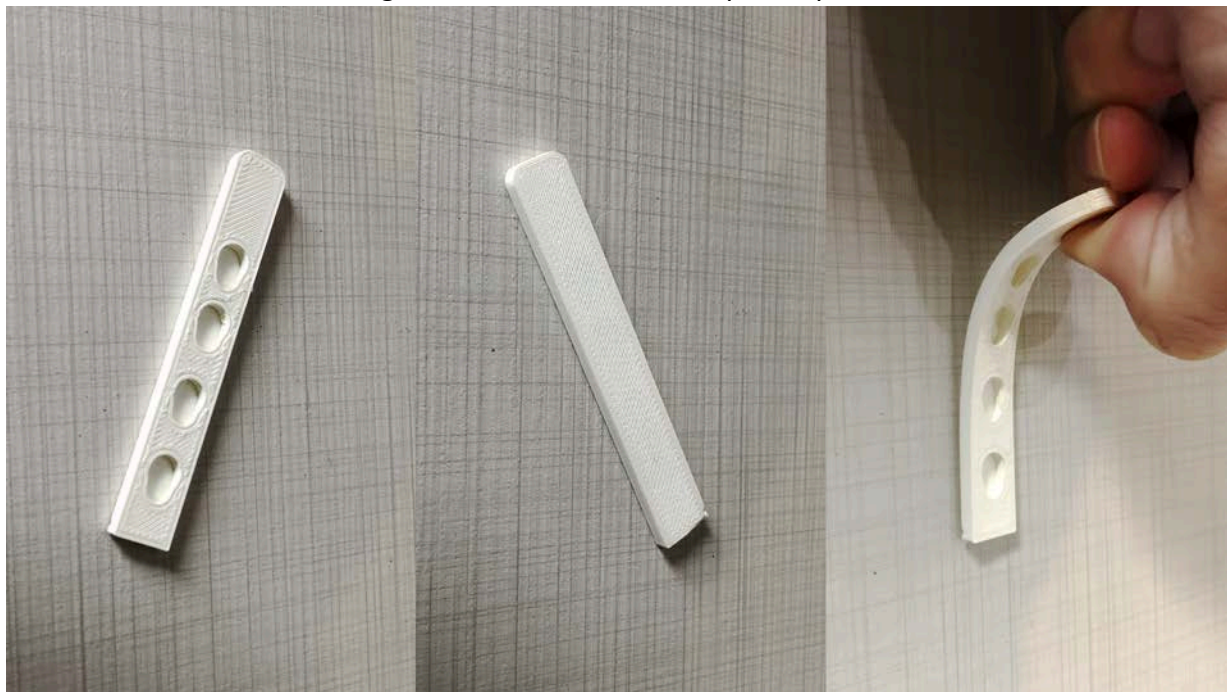
Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar dos ocorridos relatados quanto ao Cabedal, o autor considerou a impressão razoavelmente boa quanto ao acabamento e a flexibilidade. Supõe-se que um aumento na espessura geral, e também nas diferenças de espessuras, do cabedal, bem como um aumento na porcentagem do padrão de preenchimento, configuram um resultado mais satisfatório para este componente. As abas e o tamanho do bico podem ser alterados e otimizados na modelagem digital, quanto aos pinos do cabedal, é provável que seja necessário uma alteração nas configurações do software de fatiamento para realizar a impressão.

A figura 149 apresenta a Fita de união do protótipo, impressa com filamento flexível branco. Apesar da ausência dos pinos, aos quais este módulo deve ser conectado, sua impressão apresentou o desempenho esperado quanto ao acabamento e flexibilidade. Uma

visível melhoria para este componente seria o aumento da espessura na superfície ao fundo dos furos para torná-la mais resistente.

Figura 149: Fita de união do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

O quarto módulo consiste no Solado do protótipo impresso com filamento flexível branco, mostrado na figura 150. Este foi o componente que demonstrou mais problemas de acabamento entre os seis, mas, devido a sua complexidade, sua impressão também foi considerada razoável. A maior consideração quanto ao solado é devido a sua dificuldade de flexibilidade como um todo, mas principalmente da região metatarsofalangeana, indispensável para a funcionalidade e conforto do calçado. Para resolver este problema, bem como os de acabamento, são necessárias uma série de alterações em toda a modelagem deste componente: como redução de volume (área e massa), angulação de superfícies, entre outros; modificações nas configurações de impressão também podem minimizar a aparição de características indesejadas. A utilização de outro material também deve ser considerada, a fim de otimizar a flexibilidade do solado.

Figura 150: Solado do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 151 apresenta os detalhes do Solado do protótipo, evidenciando os problemas de acabamento da face inferior, da canaleta interior e do bico. Alguns desses acabamentos podem ser feitos após a impressão, mesmo que durante o uso a face inferior esteja sujeita a se desgastar naturalmente.

Figura 151: Detalhes do Solado do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

O Ajuste, mostrado na figura 152, representa o quinto módulo do protótipo e foi impresso com filamento flexível preto sem as camadas superior ou inferior, o que faz com que aparente seu padrão de preenchimento interno. Neste módulo notou-se que as características do padrão de preenchimento são diferentes ao do cabedal, apesar de ter sido utilizado o mesmo tipo e porcentagem de preenchimento em ambos; não fora percebida pelo autor nenhuma alteração significativa quanto a flexibilidade do componente, quando comparado ao cabedal. O resultado da impressão apresenta um acabamento razoável, pois, apesar da presença de alguns fiapos no interior dos furos nos olhais, nenhum deles foi completamente bloqueado por estas sobras de material.

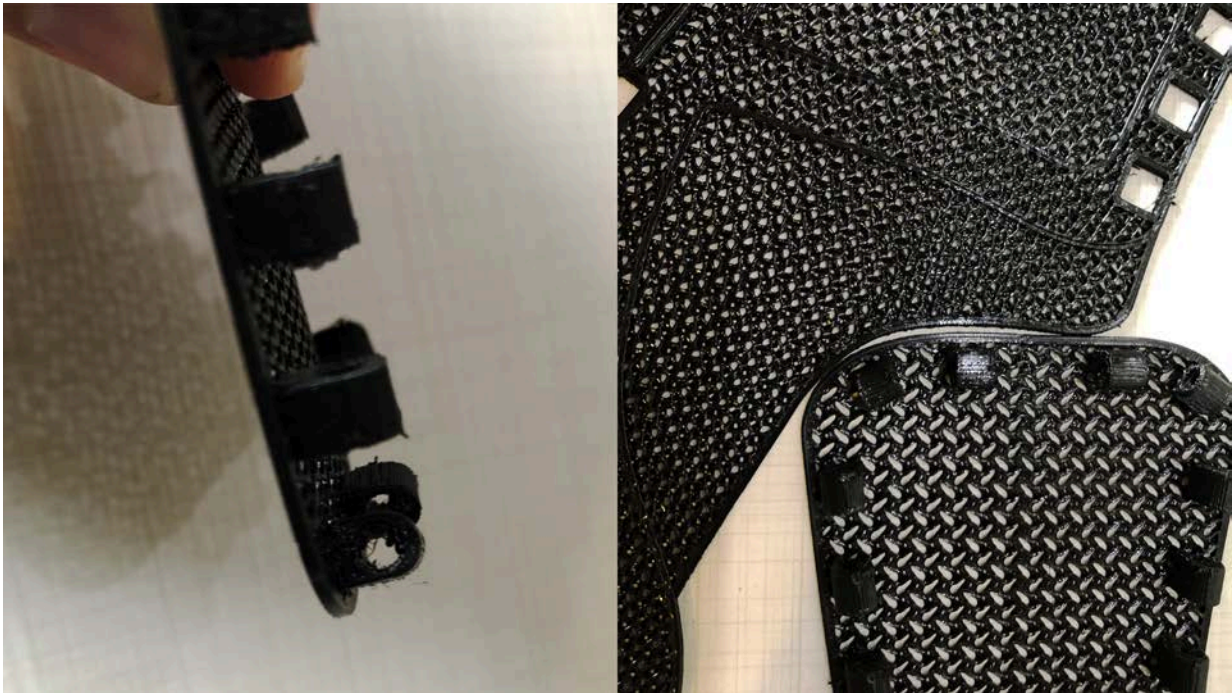
Figura 152: Ajuste do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 153 mostra os citados fiapos no interior dos furos nos olhais e a diferença entre o padrão de preenchimento presente neste componente e no Cabedal. A questão do interior dos olhais pode, supostamente, ser solucionada com uma configuração de impressão mais precisa feita dentro do *software* de fatiamento, alterar valores como velocidade de deslocamento do bico de impressão, velocidade e distância de retração pode gerar um acabamento mais refinado.

Figura 153: Detalhes do Ajuste do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

O último módulo do calçado consiste no cadarço; este componente pode consistir em um cadarço redondo de tecido, comum entre vários modelos. Para o protótipo foi impresso em 3D um cadarço com dimensões reduzidas, somente para o fim de manter unidos o Cabedal e o Ajuste. O Cadarço do Protótipo foi impresso com filamento flexível branco e é apresentado na figura 154. Seu acabamento mostrou-se razoável, com apenas um detalhe em que há um fio parcialmente solto do restante, próximo a uma das extremidades. A flexibilidade do Cadarço impresso foi considerada excelente.

Figura 154: Cadarço do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Após as imagens e considerações sobre cada componente separadamente, o protótipo montado é apresentado nas figuras 155, 156 e 157, constituído pelos 6 componentes apresentados anteriormente. Como pode ser observado nas figuras (155 à 157) a região sobressalente do bico do cabedal teve que ser dobrada para dentro para uma melhor visualização do resultado, bem como a fita de união teve que ser segura pelo autor na posição adequada, devido a falta dos pinos no cabedal.

Figura 155: Protótipo - Foto 1



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 156: Protótipo - Foto 2



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 157: Protótipo - Foto 3



Fonte: elaborado pelo autor.

Com o calçado montado foram percebidos possíveis pontos de otimização do modelo, como redução das folgas entre a Palmilha e o Solado, tanto interna quanto externamente, e um provável ajuste necessário quanto à região dos pinos, para minimizar a aparente divisão entre as bordas do Cabedal. Esta última possibilidade, porém, só pode ser realmente averiguada quando os Pinos do Cabedal estiverem presentes para que sejam devidamente provados. Os detalhes citados do protótipo montado foram registrados fotograficamente pelo autor e são exibidos na figura 158.

Figura 158: Detalhes do protótipo montado



Fonte: elaborado pelo autor.

Otimização do cabedal

Como a ausência dos pinos no cabedal impediu a devida montagem do protótipo, o autor solicitou a reimpressão do componente. Houve uma tentativa de impressão dos pinos separadamente, visando a fixação destes ao cabedal mediante material adesivo. Para isto, os pinos foram separados do modelo 3D do cabedal e, enquanto a impressão deles não foi realizada, o autor também produziu modificações no modelo 3D do cabedal, a fim de resolver alguns pontos observados. A figura 159 Mostra as duas versões do cabedal impressas, lado a lado.

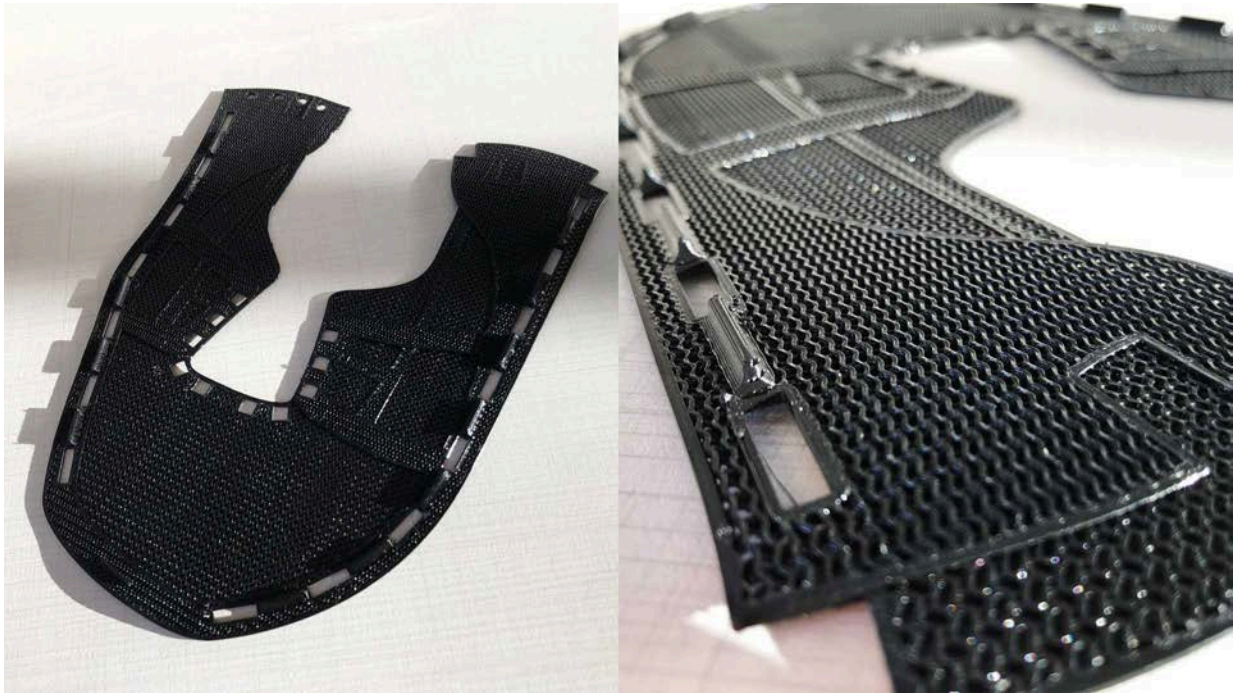
Figura 159: Versões do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor.

As modificações não afetaram significativamente o formato do Cabedal, pois, devido a correlação dos componentes, outras alterações demandam modificações também nos demais componentes, os quais seria improvável a reimpressão. Com a impressão da segunda versão, notou-se que esta também não possui os Pinos para a união traseira do Cabedal, principal motivo para sua produção, e a tentativa de fixação por adesivo não obteve êxito. De acordo com o monitor do Laboratório Pronto 3D, os Pinos não saíram na impressão devido às configurações de impressão utilizadas. As alterações entre as versões do Cabedal são expostas na figura 160, a citar: o formato do bico, a porcentagem do padrão de preenchimento e o formato das abas do Cabedal.

Figura 160: Detalhes da segunda versão do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor.

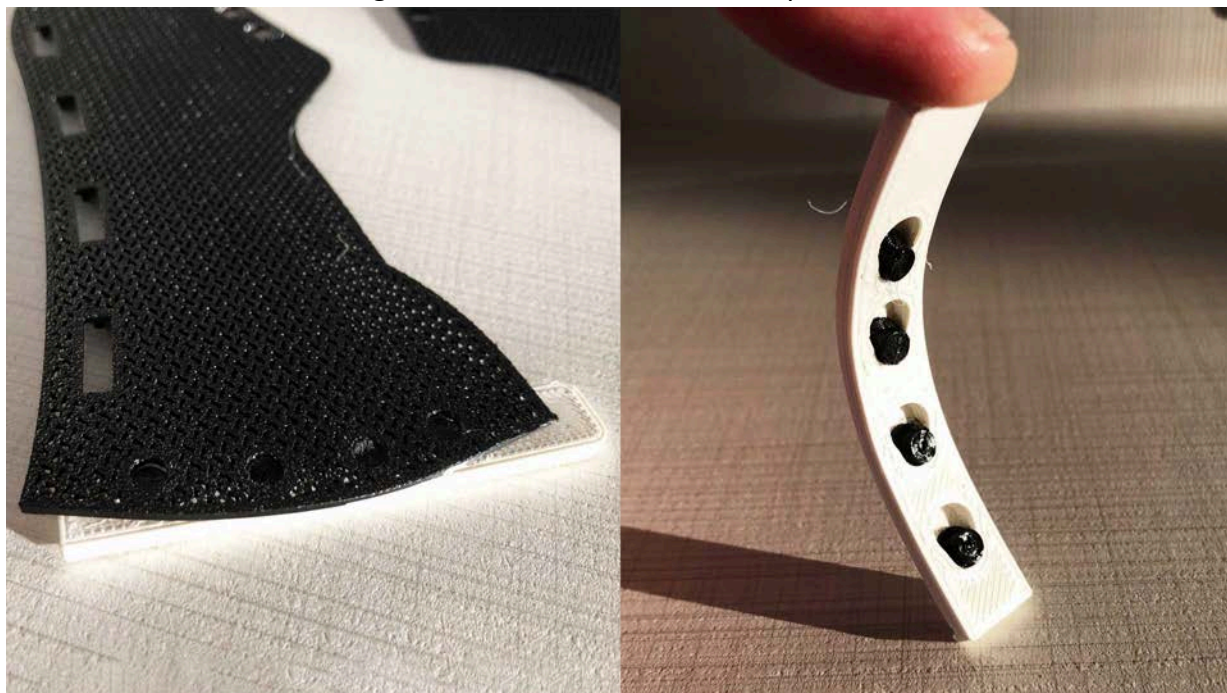
As modificações quanto a porcentagem do padrão de preenchimento e do formato das abas surtiram o resultado esperado, tornando a malha mais fechada e a base das abas mais fortes. Contudo, a modificação de formato no bico não resolveu o problema, sendo necessária uma nova alteração, mais complexa, para tornar o formato condizente com os formatos de bico do Solado e da Palmilha, permitindo o encaixe e removendo a área sobressalente. Quanto aos Pinos, a provável solução consiste na utilização de modificadores no software de fatiamento, a fim de aplicar a camada de cobertura na área próxima aos pinos, conforme ilustra a figura 161, extraída pelo autor da interface do Ultimaker Cura.

Figura 161: Modificador de superfície no *software* de fatiamento.

Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar da modificação ter sido realizada pelo autor no ambiente digital, não foi possível realizar a impressão e averiguar se isso resolve o problema da ausência dos Pinos, encontrado nas versões anteriores. Com a impressão dos Pinos separados do Cabedal pode-se testar a funcionalidade dos encaixes destes nos orifícios do Cabedal e na Fita de União do Protótipo, conforme demonstra a figura 162, onde os Pinos foram posicionados no Cabedal e na Fita.

Figura 162: Testes de encaixe dos pinos



Fonte: elaborado pelo autor.

Estes testes demonstraram a funcionalidade dos sistemas de encaixe: os Pinos se encaixam nos orifícios do Cabedal e da Fita ao mesmo tempo e deslizam nos orifícios da Fita, fazendo com que fiquem presos a ela. Contudo, os testes feitos não podem comprovar a funcionalidade geral do sistema, para isso é necessário o teste com os pinos impressos já fixados ao Cabedal. Mesmo sem os Pinos, o calçado com a nova versão do Cabedal foi montado para visualização, como mostram as figuras 163 e 164.

Figura 163: Calçado montado com a segunda versão do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 164: Calçado montado com a segunda versão do Cabedal



Fonte: elaborado pelo autor.

2.4.2 Análise Final

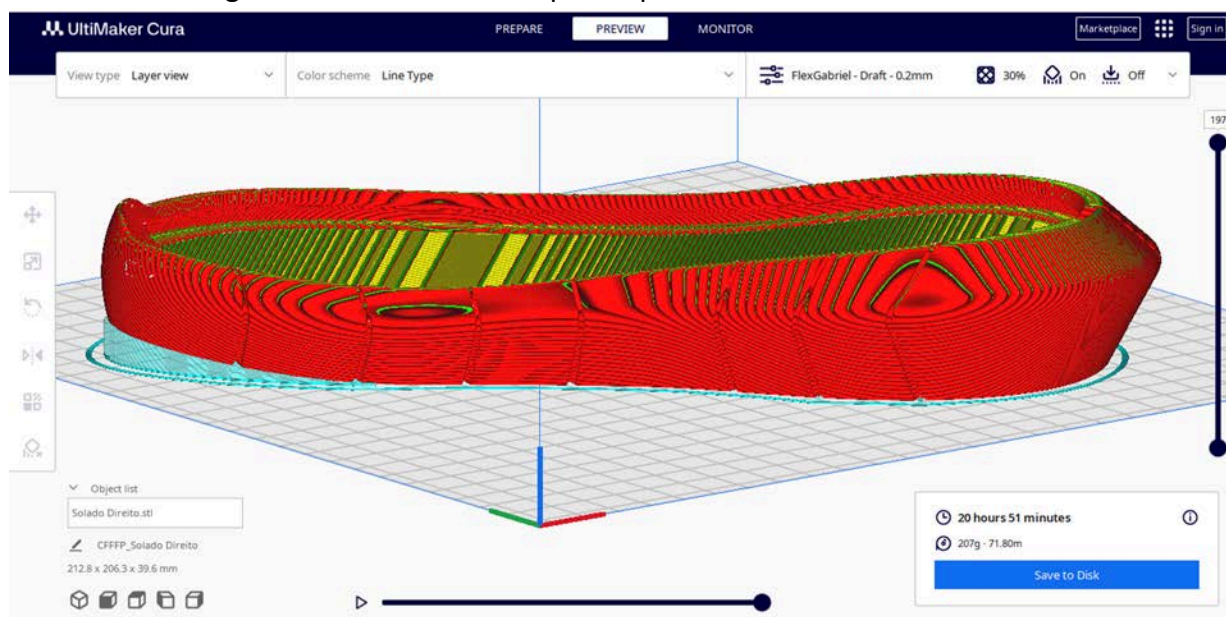
A sétima etapa da metodologia de Bonsiepe (1984), denominada Avaliação Final, consiste em apresentar os fatores técnicos e funcionais do produto desenvolvido. As etapas realizadas pelo autor deste PCC neste capítulo final serão apresentadas nos tópicos a seguir,

sendo eles: custos do protótipo, fator de usabilidade, fator ecológico e considerações finais; Os desenhos técnicos são apresentados no capítulo 3, após as considerações.

Custos do protótipo

Os custos do protótipo foram calculados conforme as estimativas obtidas no fatiamento realizado no *software* de fatiamento Ultimaker Cura, apresentado anteriormente, e na calculadora 3D disponível no site Acelera3D (2023). O fatiador consegue estimar o peso do material utilizado para a impressão, bem como o tempo, de acordo com as configurações feitas. O peso estimado das peças foi calculado também no software de fatiamento, removendo a utilização de recursos onde a impressora utiliza material para auxiliar na impressão da peça, como marcações ou suportes. A figura 165 apresenta a interface do Ultimaker Cura durante o processamento das peças, as regiões com coloração azul representam material utilizado apenas para auxiliar na impressão, enquanto a peça possui uma coloração majoritariamente vermelha.

Figura 165: Fatiamento do protótipo dentro do Ultimaker Cura



Fonte: elaborado pelo autor

Os dados obtidos a partir das estimativas fornecidas pelo *software* Ultimaker Cura foram tabelados para cada pé do calçado (tabelas 7 e 8). Cada tabela mostra o peso, o tempo de impressão e a quantidade de material utilizado para a impressão de cada um dos seis módulos, bem como o total obtido com um somatório dos valores apresentados. A

tabela 7 (sete) traz os custos e o peso das partes e do total para o pé esquerdo; A tabela 8 (oito) traz os custos e o peso das partes e do total para o pé direito.

Tabela 7: Custos Calçado esquerdo

Peça	Peso (g)	Tempo	Material (g)
Palmilha	49	5h59min	49
Cabedal	29	2h14min	29
Fita de União	3	34min	3
Solado	209	21h30min	214
Ajuste	5	26min	5
Cadarço	2	11min	2
Total	297	30h54min	302g

Fonte: Elaborado pelo autor
Nota: Material: peso+suporte.

Tabela 8: Custos Calçado Direito

Peça	Peso (g)	Tempo	Material (g)
Palmilha	47	5h44min	47
Cabedal	29	2h15min	29
Fita de União	3	35min	3
Solado	203	20h55min	207
Ajuste	4	24min	4
Cadarço	2	11min	2
Total	288	30h4min	292

Fonte: elaborado pelo autor.
Nota: Material: peso+suporte.

Para calcular os gastos em Reais (R\$) do protótipo foi utilizada a Calculadora de Custos de impressão 3D do *site* Acelera3D (2023). A calculadora demanda a inserção dos valores de preço por quilo do filamento utilizado; as estimativas de quantidade de material utilizado e duração de impressão fornecidos pelo *software* de fatiamento; a taxa de energia

da distribuidora elétrica e o consumo médio da impressora; e a porcentagem de margem de lucro.

O filamento utilizado foi o 3NFlex, distribuído pela empresa Dynalabs, custando R\$ 198,80 o quilo (DYNALABS 2023). A taxa de energia elétrica utilizada para o cálculo foi do tipo “Tarifa Convencional”, custando R\$ 0,59296kW/h (quiloWatt-hora) (CELESC, 2023). A impressora utilizada para calcular os custos foi a “Ender 3 Max Neo”, da marca Creality, cujo consumo médio é de 270W (watts) (GTMAX3D, 2023). A margem de lucro considerada foi nula.

Como resultado a Calculadora de Custos de Impressão 3D (ACELERA3D, 2023) estimou o custo por grama em R\$ 0,22. O custo do calçado esquerdo foi estimado em R\$ 65,21; sendo R\$60,10 o custo do filamento e o restante significa consumo de energia elétrica. O custo do calçado direito ficou estimado em R\$ 63,56; sendo R\$ 5,45 o custo referente ao consumo de energia elétrica e o restante refere-se a quantidade de filamento utilizado. O investimento total foi estimado em R\$ 128,77, sem margem de lucro, pois, tratando-se de um protótipo, deve ser ainda testado e otimizado para um possível lançamento no mercado, onde incidem sobre o preço final outros custos de operação e margem de lucro, particulares a cada empresa.

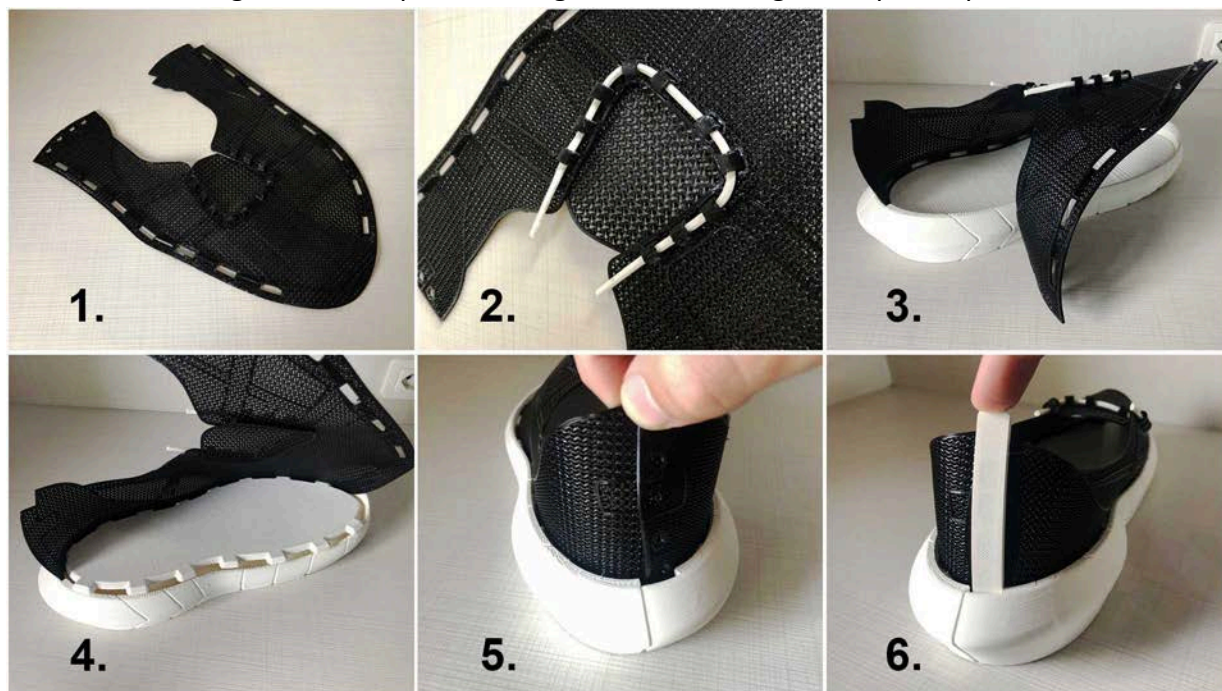
Fator de Usabilidade

Os fatores de usabilidade consistem na apresentação da sequência fotográfica e tempo de montagem; Sequência Pictórica de Procedimento; e Teste de calce. Há também registros audiovisuais (vídeos) do procedimento de montagem e teste de calce.

Montagem

A montagem do protótipo pode ser dividida em 6 etapas: (1) Encaixe do Ajuste; (2) Posicionamento do Cadarço; (3) Posicionamento do Cabedal; (4) Posicionamento da Palmilha; (5) Encaixe dos Pinos; (6) Encaixe da Fita da União. As etapas estão expostas na figura 166, e serão detalhadas na sequência.

Figura 166: Sequência fotográfica de montagem do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Etapas de Montagem

1 - Encaixe do Ajuste.

Passar os olhais do Ajuste pelos furos do Cabedal.

Duração: 45 segundos.

2 - Posicionamento do Cadarço.

Passar o Cadarço por dentro dos olhais, travando o Ajuste ao Cabedal.

Duração: 50 segundos.

3 - Posicionamento do Cabedal.

Encaixar o Cabedal nas canaletas lateral e vertical do Solado.

Duração: 25 segundos.

4 - Posicionamento da Palmilha.

Encaixar a Palmilha nos furos do cabedal e na canaleta lateral do solado.

Duração: 1 minuto e 30 segundos.

5 - Encaixe dos Pinos.

Passar os Pinos por entre os furos da parte traseira do Cabedal.

Duração: 1 minuto e 20 segundos.

6 - Encaixe da Fita da União.

Posicionar a Fita de União aos Pinos e ao Solado, travando os Pinos.

Duração: 1 minuto.

A montagem do protótipo levou 7 minutos, aproximadamente, e foi registrada em vídeo pelo autor; a figura 167 mostra um quadro do vídeo, disponível no YouTube, que foi acelerado para exibir a montagem por inteiro. Cabe esclarecer que o processo de montagem apresentado no vídeo não é exatamente o mesmo apresentado anteriormente nas 6 etapas, devido a ausência dos Pinos no Cabedal. O vídeo completo da montagem pode ser assistido pelo link: <https://youtu.be/uaBSjecev1s>.

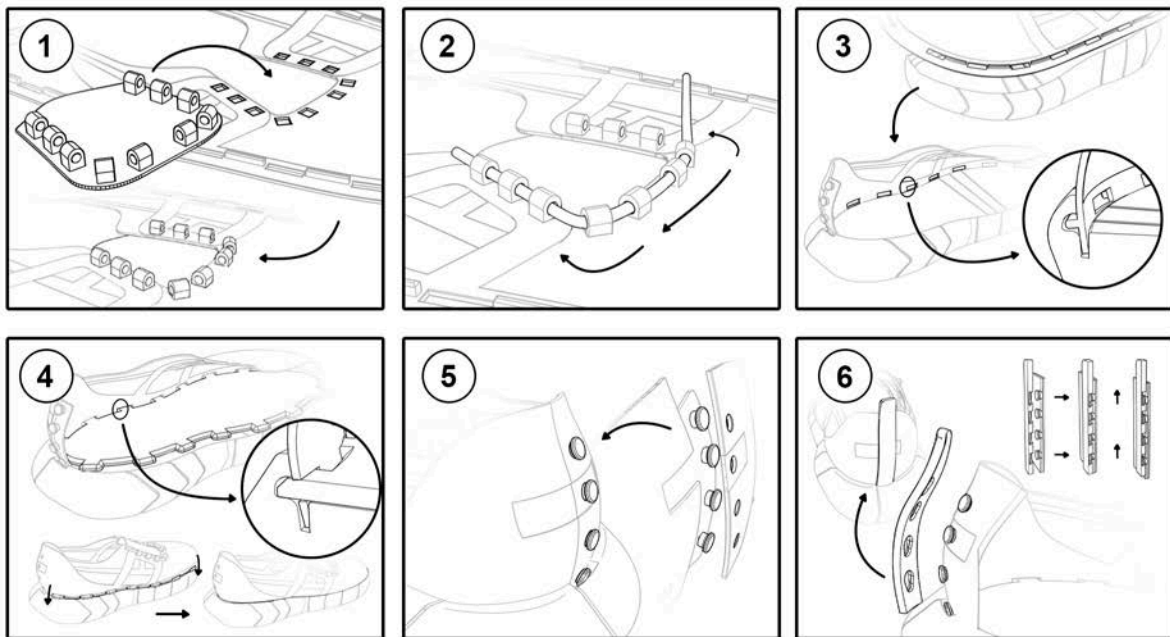
Figura 167: Vídeo da montagem do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

O processo de montagem do calçado também está esquematizado, por meio de uma Sequência Pictórica de Procedimento (SPP), elaborada pelo autor, na figura 168.

Figura 168: Sequência Pictórica de Procedimento - Montagem do Calçado



Fonte: elaborado pelo autor.

Mesmo sem poder realizar a devida montagem do protótipo, devido a ausência dos Pinos, foi realizado um teste de calce com a orientadora da pesquisa, Profa. Dra. Rochelle Cristina dos Santos, cujos pés baseiam as formas e, portanto, o protótipo desenvolvido. O encaixe dos Pinos e da Fita são de elevada importância para a realização do teste de calce, sem eles, ou seja, com a parte traseira do calçado aberta, o calçado não acompanha devidamente o movimento dos pés, fazendo com que seu funcionamento seja semelhante ao de um chinelo, o que não reflete as reais características do protótipo como funcionalidade, conforto etc. A figura 169 apresenta um registro fotográfico feito durante este breve teste de calce.

Figura 169: Registro do teste de calce.



Fonte: elaborado pelo autor.

Durante o teste de calce, a orientadora relatou que o calçado era confortável, alegando que já havia utilizado calçados mais desconfortáveis, referindo-se à capacidade de absorção de impacto durante a fase apoio. Vale ressaltar que o teste de calce do protótipo durou cerca de 10 minutos e, como indicado anteriormente, a montagem do calçado não estava completa, portanto, o conforto do calçado não pode ser atestado baseado apenas neste teste. Durante o calce foi notado que havia uma porção do cabedal sobressalente na região lateral anterior do pé, próximo aos dedos de número três, quatro e cinco. A figura 170 mostra um quadro do vídeo gravado pelo autor durante o teste de calce, que pode ser assistido na íntegra no link: <https://youtu.be/nN7isY5s3-8>.

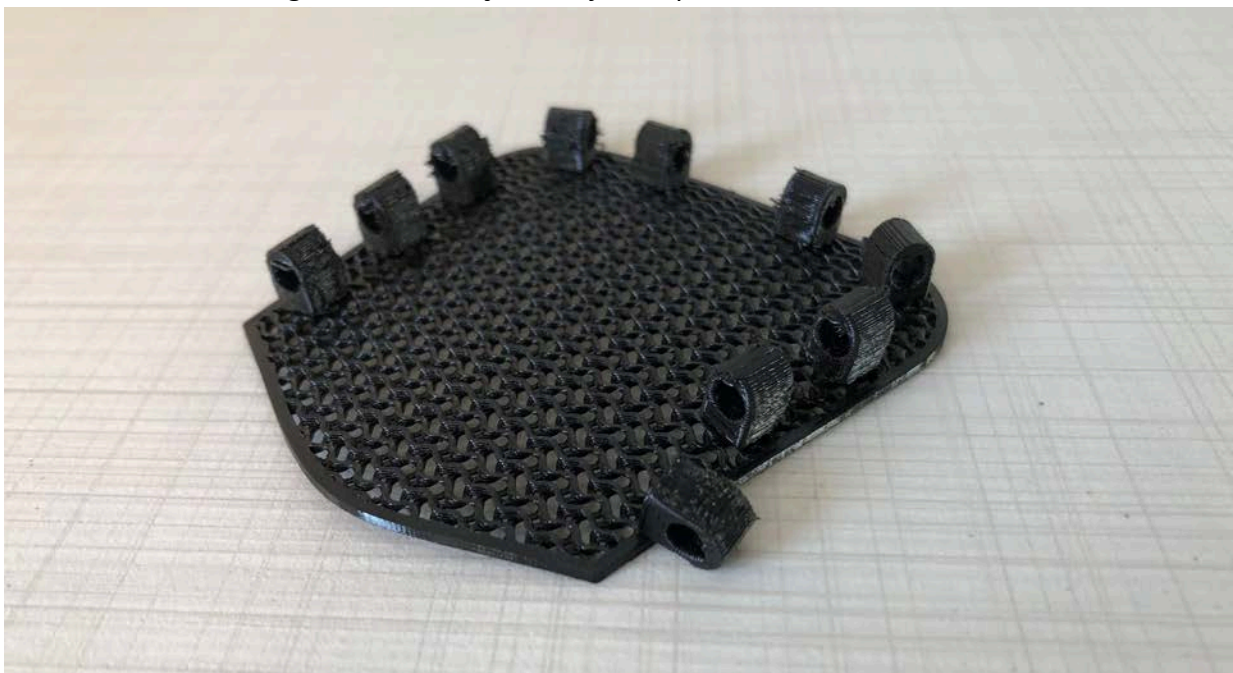
Figura 170: Vídeo do teste de calce



Fonte: elaborado pelo autor.

Após o teste de calce do protótipo, o autor notou que um dos olhais do Ajuste havia se soltado parcialmente, indicando a necessidade de otimização também neste componente; este rompimento pode ser observado na figura 170.

Figura 171: Situação do ajuste após o teste de calce.



Fonte: elaborado pelo autor.

Fator Ecológico

Com intenção de examinar o potencial sustentável do calçado desenvolvido, considerou-se o uso do filamento 3NFlex como matéria prima para a produção do calçado tal qual o protótipo.

Para esta avaliação utilizou-se da ferramenta “Indicador de Sustentabilidade de Materiais” (ISM), a qual consiste na perscrutação de um material sob onze aspectos: Disponibilidade de recurso; Distância da origem; Energia incorporada; fração reciclada; Produção de emissão; Produção de lixo; Produção de toxinas; Reciclabilidade; Lixo no fim-da-vida; Ciclabilidade; e Biodegradação. A partir da coleta e interpretação de dados disponíveis, classifica-se o impacto em quatro níveis: Nulo (0); Baixo (1); Médio (2); e Alto (3). (STRAIOTO, BUCKSTEGGE e GRIEDER; 2024)

Cada um dos onze critérios é brevemente introduzido, discorrido e avaliado; Ao final apresenta-se uma tabela (Tabela 9) com a classificação de impacto para cada um, seguido do total que, a partir de uma média simples, apresenta o impacto do material como um todo, entre os mesmos quatro níveis.

Disponibilidade de recurso

A disponibilidade de recurso consiste em avaliar a origem do material, se a matéria prima é abundante e renovável (Nulo - 0); renovável (Baixo - 1), não renovável (Médio - 2) ou não renovável e rara (Alto - 3).

De acordo com o *site* Dynalabs (2023b), os filamentos 3N3 são fabricados pela empresa argentina Nieceza y Taverna Hnos. (NTH) e, portanto, o filamento 3NFlex. A Dynalabs (2023a) indica que o filamento é composto de PLA e elastômeros, sem especificar quais. O filamento flexível comercializado na Argentina, fabricado pela empresa NTH, leva o nome de Simpliflex, sendo distribuído pela empresa Grilon3 (do grupo NTH) (NTH, 2023). Em seu *site*, a Grilon3 (2023), afirma que o filamento Simpliflex é uma fórmula de TPU desenvolvida pela NTH, que, em seu site, disponibiliza uma ficha com dados de segurança do filamento Simpliflex (NTH 2017), onde apresenta a denominação de TPU - Termoplástico de uretano baseado em poliéter aromático.

O TPU é um tipo de TPE classificado como copolímero em bloco de poliuretano, constituído de poliéteres ou poliésteres com uretanos. (OLIVEIRA; SANTANA, 2012)

O site da Revista Plástico Industrial (2021), cita um estudo de mercado publicado na revista Plástico Industrial, feito na Alemanha, sobre o mercado mundial de elastômeros termoplásticos que indica a Ásia como o maior produtor mundial, seguido por América do Norte e Países da Europa Ocidental.

Não Renovável - **Impacto Médio** - 3

Distância de origem

A distância de origem avalia a distância que o material percorre desde a sua produção até a utilização, considerando uma produção local de até 10km (quilômetros) (Nulo - 0), Regional de até 100km (Baixo - 1), Nacional de até 1000km (Médio - 2) ou Internacional a mais de 1000km (Alto - 3).

A empresa Dynalabs “é a distribuidora exclusiva no Brasil dos filamentos para impressão 3D fabricados pela NTH S/A”. A empresa Nicieza y Taverna Hnos. (NTH), fabricante dos filamentos 3N3, está estabelecida na Argentina, na província de Buenos Aires, e possui forte atuação nos mercados regional e mundial. (Dynalabs, 2023b; NTH, 2023)

O contato de telefone no *site* da empresa Dynalabs (2023b) possui o prefixo 18, indicando uma área industrial do estado de São Paulo. Baseando-se nessa informação, assume-se que os filamentos são transportados de Buenos Aires até São Paulo e então distribuídos para o restante do Brasil, sendo todo o transporte feito por veículos terrestres à combustão.

Distância Internacional - **Impacto Alto** - 3

Energia incorporada

A energia incorporada refere-se a toda energia utilizada desde a extração, transformação, distribuição e uso da matéria prima.

De acordo com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2023) realizado e disponibilizado no site da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil foi o sexto país que mais consumiu energia elétrica em 2021, com 571 TeraWatt-hora (TWh). Deste volume consumido, 184.383 GigaWatt-hora (GWh) de energia elétrica foram consumidos pelo setor da indústria em 2022, representando aproximadamente 32,3% do consumo total. Em 2022 19.439 GWh foram consumidos pela indústria do segmento de fabricação de produtos químicos e 10.145 GWh pela indústria do segmento de fabricação de borracha e de material

plástico; estes montantes aumentaram, respectivamente, em 2,2% e 1,7% entre 2021 e 2022. Os consumos destes segmentos industriais representam, aproximadamente, 10,5%, para os produtos químicos (3º maior), e 5,5%, para os produtos de borracha e plástico (6º maior), do consumo total da indústria brasileira.

Também são aplicáveis aqui o consumo de energia no transporte e durante a impressão.

3º e 6º maior consumidor - **Impacto Alto** - 3

Fração reciclada

A fração Reciclada considera quanto do material é atualmente reciclado no Brasil, se é 100% reciclado (Nulo - 0); entre 99% e 51% reciclado (Baixo - 1); Entre 50% e 1% reciclado (Médio - 2); e se 0% é reciclado (Alto - 3).

De acordo com o artigo de Spinacé e Paoli (2005), publicado na revista Química Nova, a ABIQUIM, no ano de 2000, estimou a reciclagem de polímeros no Brasil ocorre em uma taxa média de 17,5%, com estados próximos à 30%, sendo os Polietileno (PE) e o Polipropileno (PP) os mais amplamente reciclados.

De acordo com o *site* Plásticos (JULIE ALVARO, 2022), no Brasil a taxa de coleta e reciclagem de plásticos fica em torno de 23% e 25%, variando entre os diferentes estados da federação, e vem aumentando nos últimos anos.

Entre 50% e 1% - **Impacto Médio** - 2

Emissões

As emissões são referentes a gases e efluentes emitidos durante a extração, transformação e distribuição da matéria prima.

Os Relatórios de Referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Disponibilizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2021), relatam o consumo não energético de combustíveis, referindo-se a quando são utilizados como matéria prima da química, sendo fontes de carbono e hidrogênio. Estes relatórios afirmam que muitos produtos químicos, orgânicos ou inorgânicos, contribuem significativamente para a emissão de gases do efeito estufa (GEE) no Brasil e no mundo.

Estes Relatórios (MCTI, 2021) estimam as emissões antrópicas por fontes e remoções de sumidouro do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) entre 1990 e 2016. Os relatórios apontam que em 2016 o setor IPPU da indústria química (subsetor) nacional emitiu 8,422,2 Gigagramas (Gg) de dióxido de carbono (CO₂) equivalente, representando 9% do total no país. O CO₂ equivalente unifica uma série de gases emitidos durante os diferentes processos industriais, como o próprio CO₂, CH₄ (metano), N₂O (Óxido Nitroso), HFCs (hidrofluorocarbonos) entre outros.

9% do total de emissões do Brasil - **Impacto Alto** - 3

Produção de lixo

A produção de lixo trata do lixo produzido durante o processo de transformação do material na indústria, como sobras e rebarbas.

A fabricação do calçado por manufatura aditiva (*FDM*), implica uma produção de lixo praticamente nula, não possuindo sobras significativas durante o processo produtivo. As sobras presentes dão-se por conta da possível utilização de suportes para a impressão de peças complexas e das marcações feitas pela impressora no início da impressão, que utilizam o mesmo filamento que compõe as peças. Outras sobras podem ocorrer a partir de testes, erros ou problemas durante a impressão, que, junto com as sobras oriundas dos suportes e marcações, podem ser transformadas novamente em filamento com o devido processo de reciclagem.

Manufatura aditiva - **Impacto Nulo** - 0

Produção de toxinas

A produção de toxinas refere-se a emissão de agentes tóxicos durante o uso ou pós consumo, decorrentes da degradação do material.

A incineração de TPU pode emitir de dioxinas ou produzir ácidos clorídrico e fluorídrico; Os TPUs podem liberar óxidos de azoto (NO_x), metais ou compostos orgânicos provenientes de estabilizantes presentes nos polímeros. (OLIVEIRA; SANTANA, 2012)

A ficha com dados de segurança sobre o filamento Simpliflex, disponibilizada no *site* da empresa NTH (2017), alerta que a decomposição térmica do produto pode liberar óxidos de carbono e outros gases ou vapores tóxicos, incluindo óxido de nitrogênio, isocianatos e cianeto de hidrogênio.

Potencial Emissão de toxinas - **Impacto Médio** - 2

Reciclabilidade

A reciclabilidade faz referência a capacidade do material ser reciclado direta (reutilização) ou indiretamente (recuperação).

Os materiais termoplásticos como o TPU, possuem uma capacidade de reciclabilidade total, sendo possível a reutilização do produto para a produção de matéria-prima com características muito semelhantes à utilizada (BUGIN, 2019).

Sendo assim, as peças impressas em 3D com estes materiais podem ser trituradas, fundidas e extrusadas novamente em forma de filamento para impressão 3D, bem como o material utilizado para suportes de impressão ou testes e impressões que falharam.

É necessário estar alerta a possíveis contaminações dos resíduos pós-consumo para evitar problemas no processo de reciclagem do material. O material, após múltiplos reprocessamentos, pode perder suas características, sendo impossibilitado de reciclagem, devendo ser descartado e encaminhado para reciclagem química ou energética. (OLIVEIRA; SANTANA, 2012; BUGIN, 2019)

Reciclagem Direta - **Impacto Nulo** - 0

Lixo no final da vida

O lixo no fim-da-vida considera o destino do produto pós consumo, se o material pode ser reutilizado pelo consumidor (Nulo - 0), pelo próprio fabricante (Baixo - 1), pela empresa de reciclagem (Médio - 2) ou deve-se simplesmente descartá-lo para aterros ou incineração (Alto - 3).

Zhang *et al.* (*Apud* BUGIN, 2019, p. 22) afirma que a reciclagem pós consumo dos calçados produzidos em massa é feita, inicialmente, pela redução do material à grãos, passando por processos de separação, sendo lavado e secado para poder ser fundido novamente.

Após o fim de vida útil, o calçado composto somente por TPU deve ser enviado para um local apropriado para reciclagem do material termoplástico, podendo ser novamente transformado em filamento para a produção de um novo calçado ou outro produto. As partes podem ser separadas por cor, devendo ser devidamente limpas e trituradas para reinserção na cadeia de produção.

Como citado por Oliveira e Santana (2012), após muitos processamentos o material está suscetível a perda de suas qualidades, devendo ser encaminhado para reciclagem química ou energética.

Reutilização pelo fabricante - **Impacto Baixo** - 1

Ciclobilidade

A ciclobilidade refere-se a facilidade com que o material pode ser reciclado.

A reciclagem de polímeros, como é o caso do TPU, segundo Bugin (2019) é feita principalmente visando a redução dos custos de obtenção de matéria prima virgem. São quatro meios para a reciclagem de polímeros, de acordo com o estado de degradação do material. A reciclagem primária reinsere as sobras de produção no processo produtivo do produto original. A reciclagem secundária aplica o material reciclado na fabricação de outros produtos que requerem menos desempenho do que o produto original. A reciclagem terciária recupera o material em nível molecular, como subprodutos químicos ou combustíveis. A reciclagem quaternária é feita a partir da recuperação da energia contida no polímero através da incineração. Portanto, os polímeros podem ser reciclados tanto mecanicamente, quanto química ou energeticamente.

Reciclagem primária - **Impacto Nulo** - 0

Biodegradação

A biodegradação consiste na capacidade do material ser degradado em condições ambientais normais, se demora dias para se degradar (Nulo - 0); meses (Baixo - 1); anos (Médio - 2); ou décadas (Alto - 3).

Segundo Cangemi (2006) os primeiros estudos sobre a biodegradação de poliuretano (PU) reportaram a degradação do material por ação fúngica, sendo mais suscetíveis aqueles do tipo poliéster do que os do tipo poliéter, caso do filamento Simplifex, de acordo com a ficha de dados de segurança do material, disponibilizada pela fabricante NTH. Cangemi (2006) também aponta estudos que comprovam diferentes taxas de biodegradação do PU de acordo com o diisocianato utilizado na produção, sendo o PU produzido com diisocianato alifático mais suscetível a biodegradação do que o obtido com diisocianato aromático.

Décadas - **Impacto Alto** - 3

Com a média feita com as avaliações dos onze critérios do material TPU, mostrados na tabela 9, obteve-se um indicador de Médio impacto, com ISM de 1,82, aproximadamente. Cabe ressaltar que o resultado obtido neste indicador é de caráter exploratório, visto que podem não ter sido consultadas todas as fontes necessárias e mais indicadas para a avaliação de cada critério e todos os valores inseridos foram obtidos a partir da interpretação do autor de dados encontrados e disponíveis para consulta.

Tabela 9: Indicador de Sustentabilidade de Material (TPU)

Critério	Avaliação
Disponibilidade de Recurso	3
Distância de Origem	3
Energia incorporada.	3
Fração reciclada	2
Produção de emissão	3
Produção de lixo	0
Produção de toxinas	2
Reciclabilidade	0
Lixo no fim-da-vida	1
Ciclobilidade	0
Biodegradação	3
Média	1,82

Fonte: elaborado pelo autor.

Considerações Finais

Considerando os cenários atuais de ergonomia e sustentabilidade dos calçados comercializados, conclui-se que a utilização de materiais termoplásticos, aliados às técnicas de manufatura aditiva (impressão 3D) possui grande potencial para a amenização dos impactos ergonômicos e ambientais relacionados à produção, utilização e descarte dos calçados. Este Projeto de Conclusão de Curso propôs o desenvolvimento de um calçado modular produzido com a tecnologia de impressão 3D, de modo que o usuário possa substituir as partes quando necessário. A partir das pesquisas estruturais, antropométricas, ergonômicas e quanto ao uso das tecnologias de impressão 3D relacionadas a calçados foi possível modelar digitalmente e materializar um protótipo a partir da impressão 3D em *FDM*, cumprindo com os objetivos propostos. Buscou-se coletar e relatar o máximo de informações possíveis sobre os processos de modelagem tradicional, tanto das formas quanto dos calçados, tornando este projeto útil para além do desenvolvimento deste protótipo, podendo auxiliar na concepção de outros projetos de calçados. Cabe ressaltar que, apesar das pesquisas e análises se mostrarem suficientes para o desenvolvimento do protótipo, nenhum profissional do ramo (Designers, Sapateiros, Ortopedistas etc.) foi oficialmente entrevistado, o que poderia trazer informações complementares relevantes para tais etapas. A utilização de outros materiais e técnicas para manufatura aditiva pode trazer novas perspectivas para o desenvolvimento do protótipo, bem como uma maior proximidade com os processos produtivos permitiria uma maior abrangência e, portanto, efetividade, dos testes realizados. Contudo a impressão dos testes e do protótipo em TPU pelo método *FDM* foi realizada devido à disponibilidade dos recursos materiais e produtivos aos quais o autor teve acesso, o que inclui as impressoras e os horários de atividade dos bolsistas e monitores presentes na equipe do Laboratório Pronto 3D da UFSC.

Quanto aos objetivos, geral e específicos, considera-se que foram atingidos totalmente, exceto sobre a funcionalidade do protótipo, pois, considerando as limitações de um Projeto de Conclusão de Curso, o mesmo não foi devidamente testado. Pesquisou-se as diferentes estruturas dos calçados, onde foi possível reconhecer os principais estilos de calçados, seus componentes, materiais, modelagem e montagem; onde foi possível reconhecer que os calçados do tipo “tênis”, apesar de muitas vezes baseados nos modelos tradicionais, não possuem padronização quanto a componentes e tipo de montagem, variando de acordo com a finalidade do uso, método de montagem e tecnologia utilizados

na produção. As análises ergonômica e antropométrica buscaram compreender a anatomia dos pés humanos, suas proporções, movimentos, variações biológicas ou alterações fisionômicas comuns; também a relação dos calçados com estes fatores, desde os sistemas de medidas tradicionais, concepção das formas e normas regulatórias. Esta etapa de análise permitiu a percepção de que os calçados são produtos extremamente funcionais que exercem influência direta sobre a saúde de quem os calça, portanto devem contemplar uma série de requisitos técnicos para servir à diversidade de características entre a população humana. A investigação da utilização da impressão 3D no mercado de calçados possui um caráter exploratório sobre as possibilidades do emprego desse tipo de tecnologia nos produtos calçadistas; percebeu-se que seu uso vem aumentando e modifica-se à medida que a tecnologia se desenvolve, não obstante das constantes inovações e variações dos calçados produzidos. A modelagem digital do protótipo possui relação direta com a materialização deste através da impressão 3D em *FDM*, as partes foram desenvolvidas para permitir a produção por meio da deposição de camadas de material flexível, devido a estes serem os meios produtivo e material mais acessíveis, mas que trazem limitações consideráveis ao projeto.

Durante o desenvolvimento deste projeto, observou-se uma dificuldade para a obtenção de dados técnicos confiáveis sobre a modelagem e fabricação de calçados e formas, causada principalmente pela grande diversidade e especificidade dos termos utilizados, dos dados e ferramentas requeridos para tal projeto. Como complemento ou continuidade deste projeto deve-se considerar: (i) Aprofundar ainda mais as análises anatômica e ergonômica, como informações sobre os arcos plantares e outros assuntos pertinentes à modelagem; (ii) Complementar e atualizar as pesquisas referentes aos estilos de calçados e a utilização da tecnologia 3D na produção destes, pois devem ser constantemente reinventados nos próximos anos; (iii) Otimizar o processo de escaneamento dos pés para a obtenção das medidas, captando também informações sobre as superfícies plantares; (iv) Testar diferentes materiais e técnicas de manufatura aditiva, a fim de verificar o mais indicado, e sustentável, para a produção de calçados modulares cujos módulos serão impressos em 3D; (v) Otimizar e testar o protótipo desenvolvido, de modo que se adeque às exigências de conforto e também as exigências técnicas, como ângulo de pronação, resistência à flexão entre outros; (vi) Modelar variações estéticas para os módulos do Cabedal e Solado; e, por fim, (vii) parametrizar a modelagem dos modelos tridimensionais

da forma e dos módulos do calçado, para que o possível futuro usuário possa customizá-los quanto às dimensões e a estética, a partir da interação com uma interface digital (aplicativo e/ou site), onde seja possível definir os parâmetros para atender à suas necessidades específicas.

Apesar da ausência dos devidos testes funcionais, este projeto demonstra a possibilidade da fabricação de um calçado modular através da impressão 3D de suas diferentes partes que, com os devidos ajustes funcionais, estratégia e posicionamento de mercado efetivos, pode impactar positivamente nos fatores de usabilidade e sustentabilidade dos produtos da indústria calçadista, resolvendo problemas como a ergonomia e o descarte pós consumo.

3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

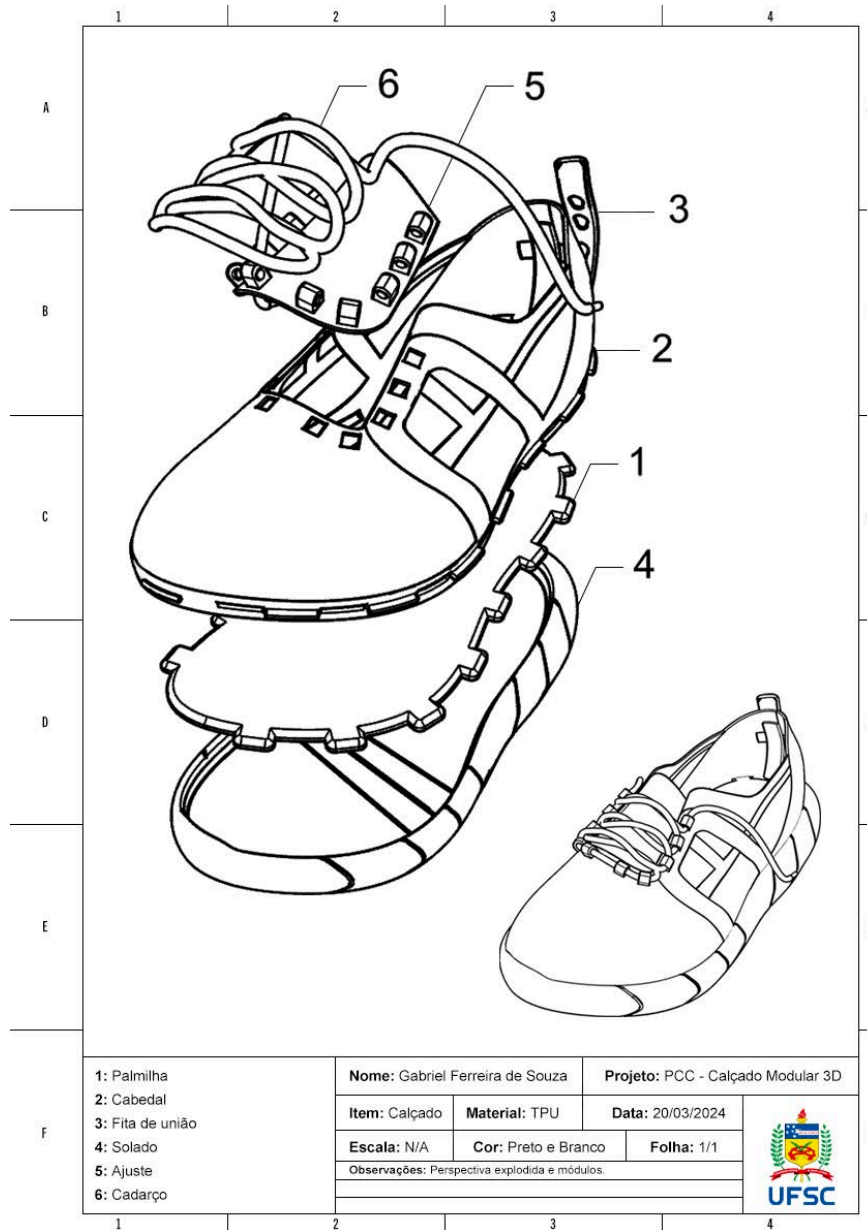
As especificações técnicas detalham o projeto através de pranchas de desenho técnico para o calçado e cada módulo de ambos os pés.

3.1 DESENHO TÉCNICO

As pranchas de desenho técnico identificam, enumeram, tipificam e mensuram os módulos do protótipo através de imagens 2D ortogonais ou em perspectiva. As imagens são acompanhadas de cotas, numeração ou descrição, além de legenda, podendo conter textos adicionais. As legendas ficam no canto inferior direito das pranchas, contendo: Nome (do autor); Projeto; Item; Material; Data; Escala; Cor; Folha; e Observações.

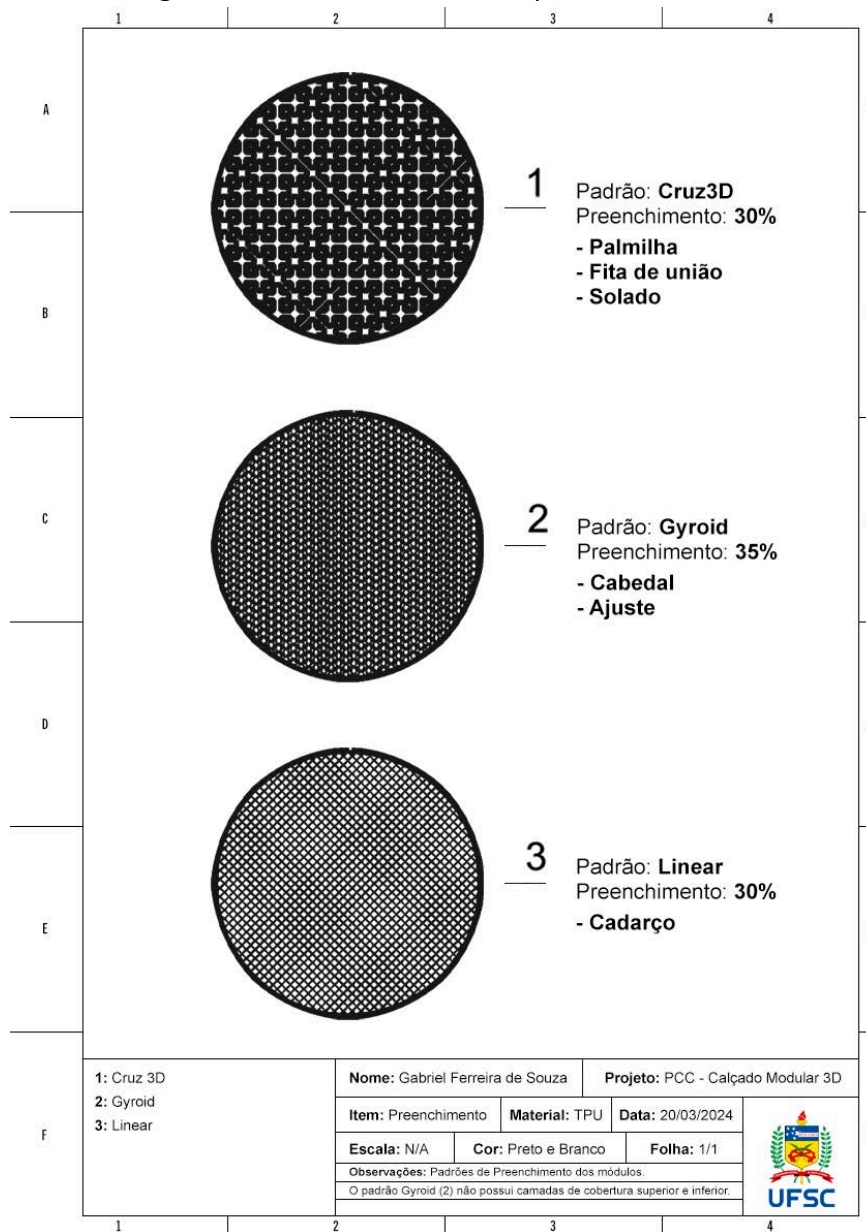
As pranchas são apresentadas a seguir em uma divisão de três partes: Identificação das partes e preenchimentos; Calçado esquerdo; e Calçado direito. A primeira segmentação conta com uma perspectiva explodida e uma vista superior com a enumeração dos módulos planejados para um calçado, bem como uma identificação dos preenchimentos utilizados em cada componente (figuras 172, 173 e 174). A segunda e a terceira parte apresentam cada componente em diferentes visões ortogonais cotadas, para os calçados do pé esquerdo e direito, respectivamente.

Figura 172: Perspectiva explodida e módulos



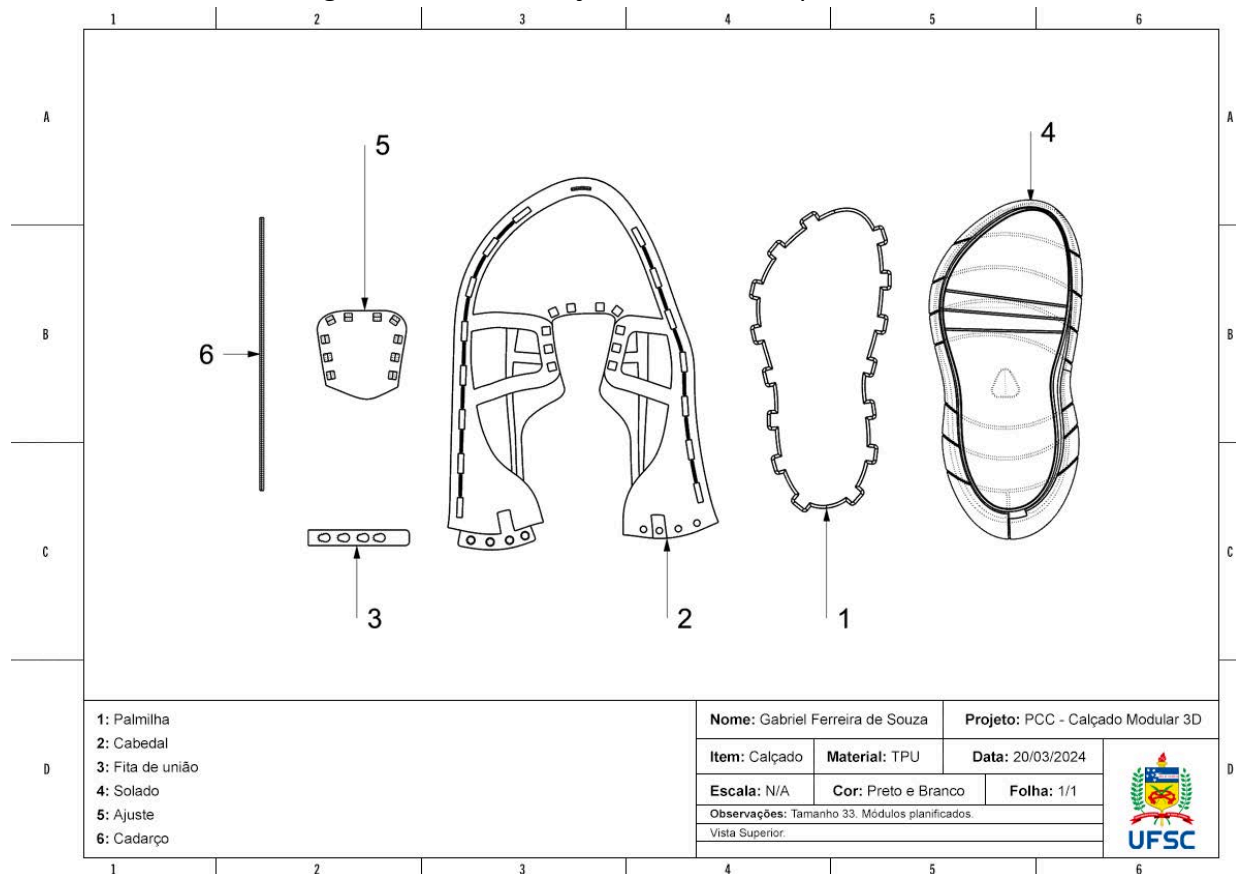
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 173: Detalhamento dos preenchimentos.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 174: Identificação dos módulos planificados

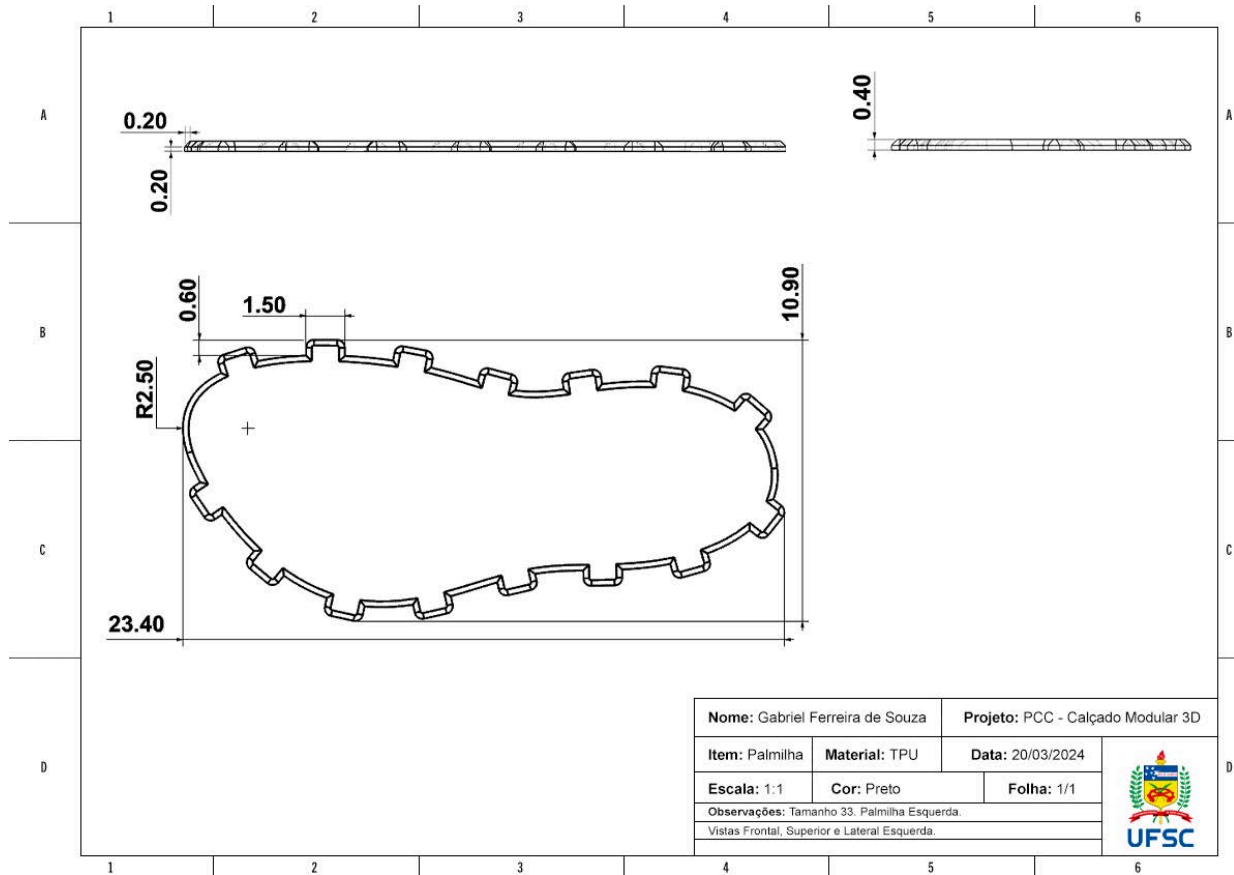


Fonte: elaborado pelo autor

3.1.1 Calçado Esquerdo

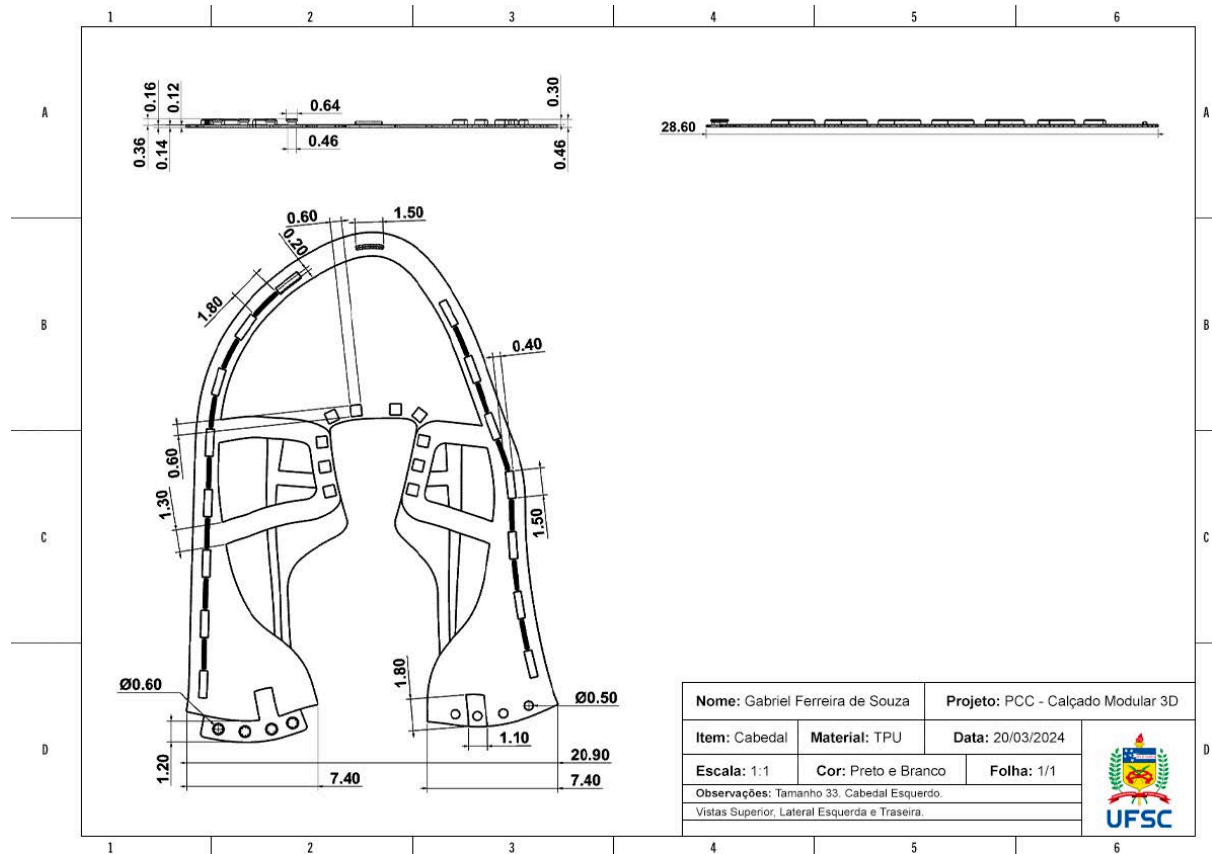
As pranchas de desenho técnico do calçado esquerdo, mostrado nas figuras 175 a 180, apresentam os módulos na ordem exibida anteriormente: Palmilha (1); Cabedal (2); Fita de União (3); Solado (4); Ajuste (5); e Cadastrarço (6). Cada módulo possui uma prancha de desenho técnico com as medidas cotadas em escala real (1:1) e observações adicionais.

Figura 175: Desenho técnico - Palmilha Esquerda



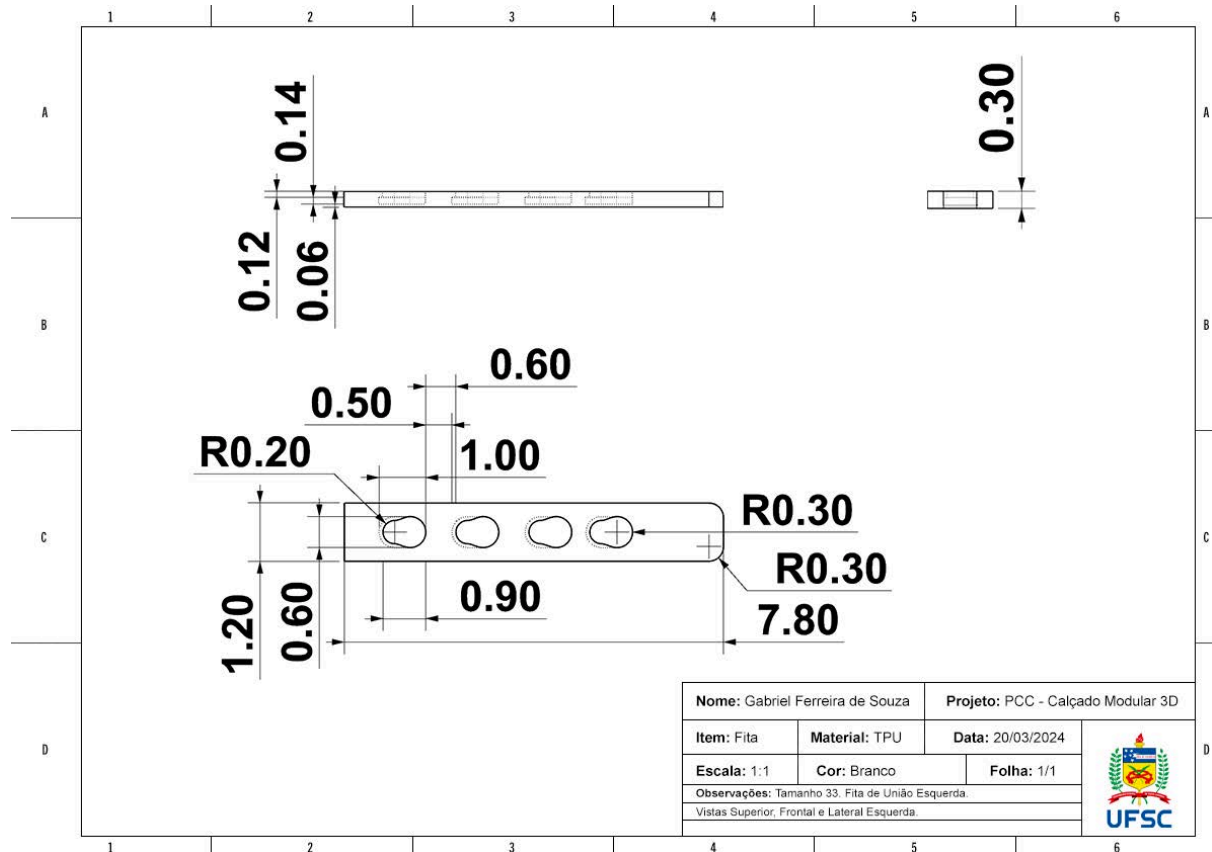
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 176: Desenho técnico - Cabedal Esquerdo



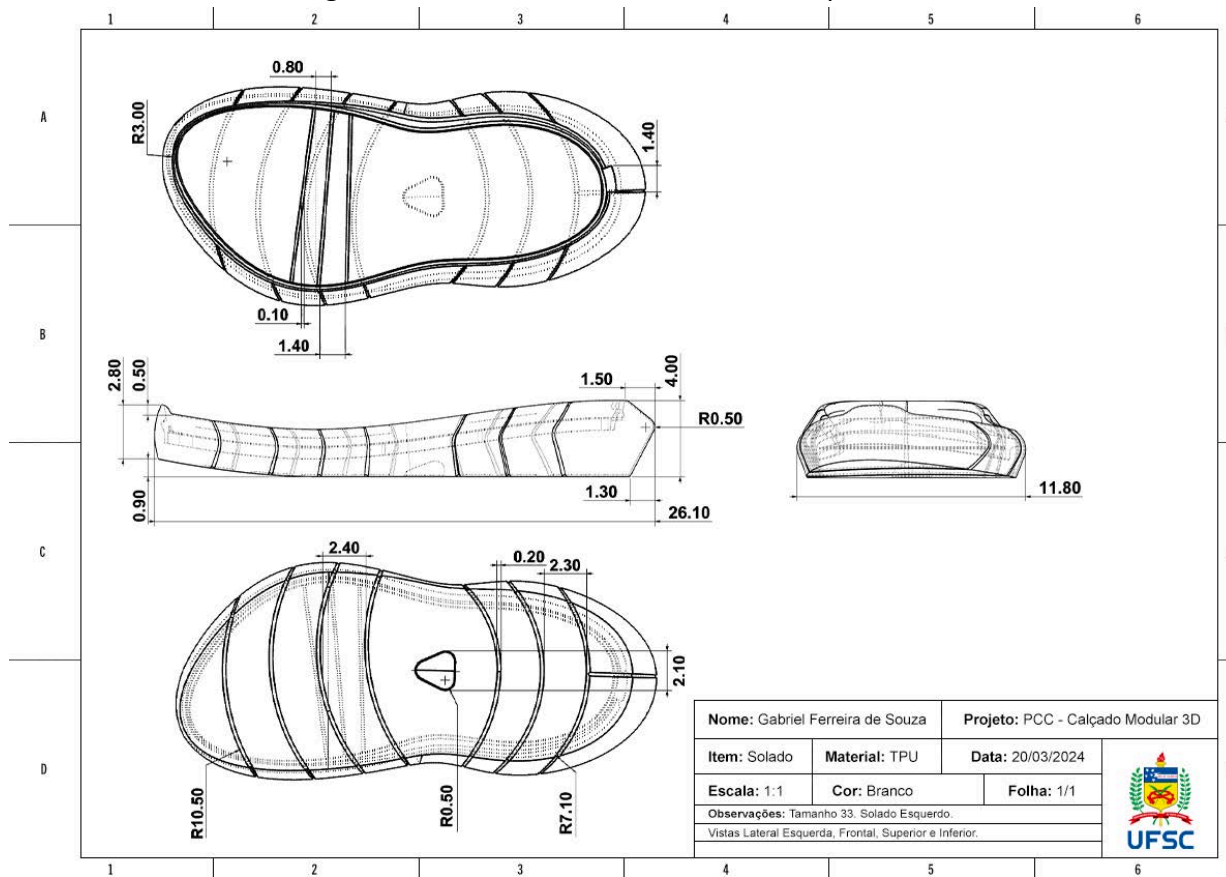
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 177: Desenho técnico - Fita de União Esquerda



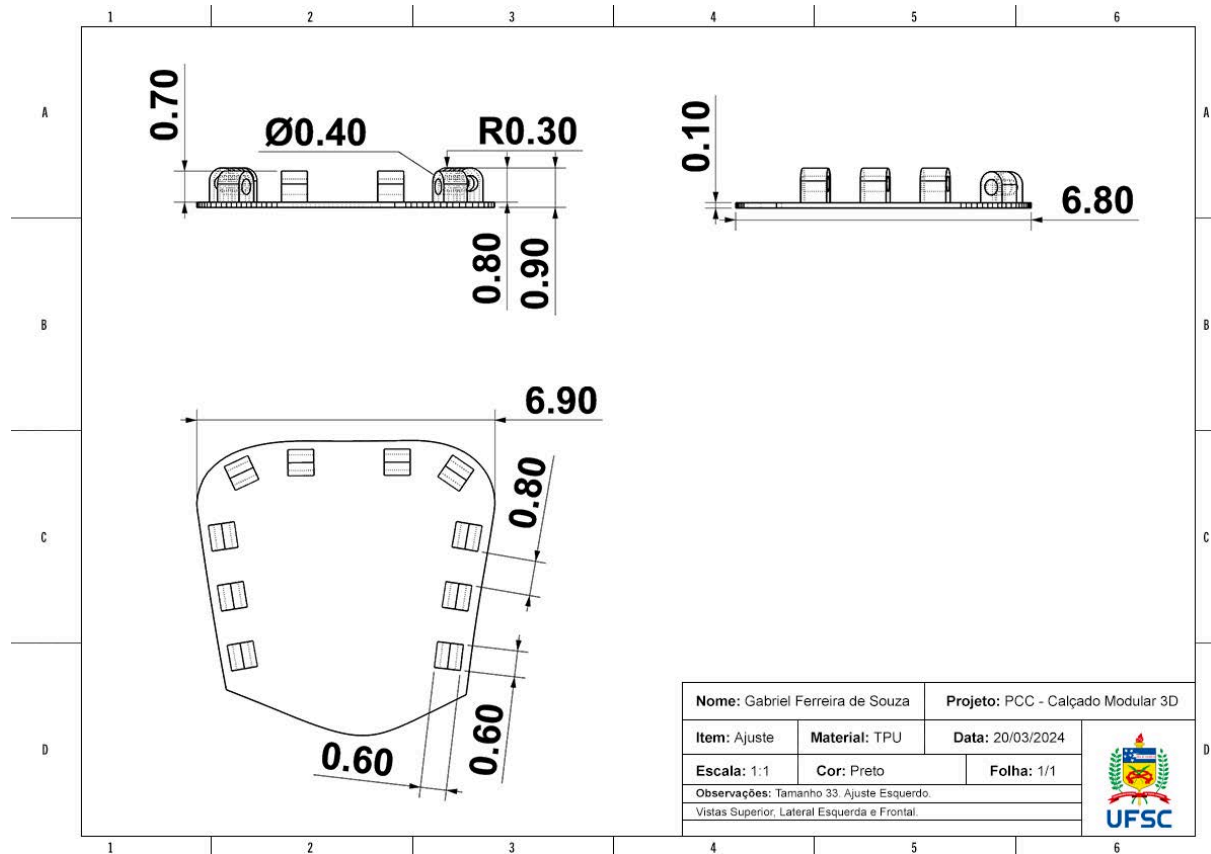
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 178: Desenho técnico - Solado Esquerdo



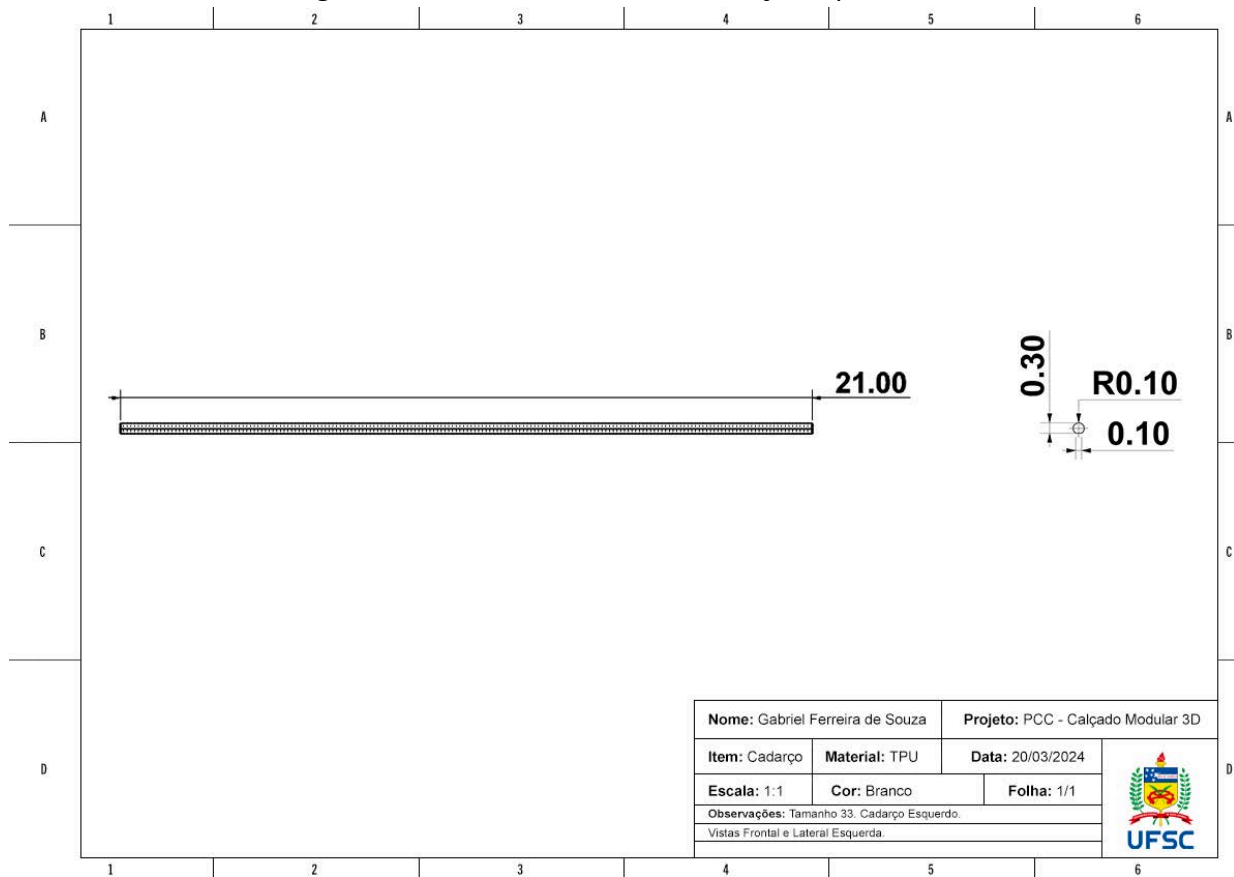
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 179: Desenho técnico - Ajuste Esquerdo



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 180: Desenho técnico - Cadarço Esquerdo

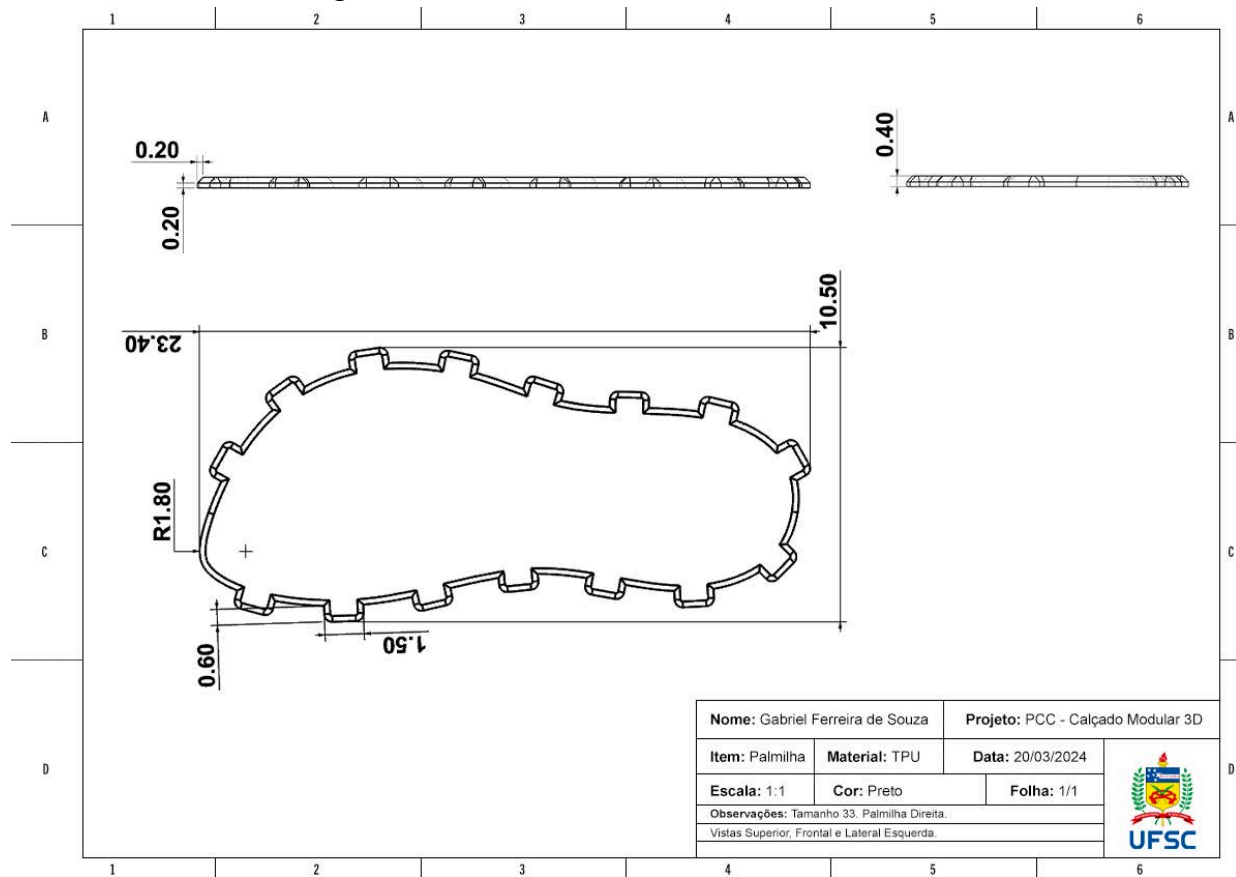


Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.2 Calçado Direito

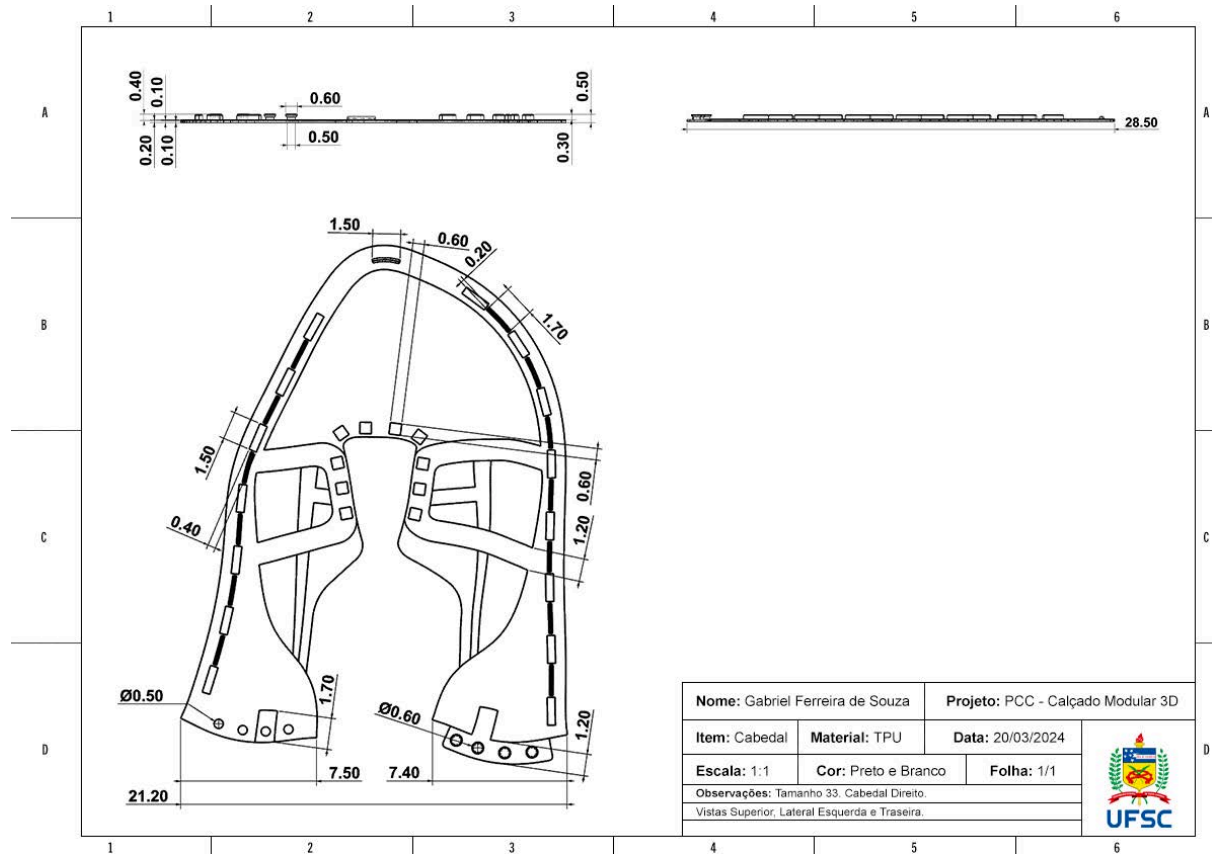
As pranchas de desenho técnico do calçado direito, presentes nas figuras 182 a 188, apresentam os módulos na ordem exibida anteriormente: Palmilha (1); Cabedal (2); Fita de União (3); Solado (4); Ajuste (5); e Cadarço (6). Cada módulo possui uma ou mais pranchas de desenho técnico com as medidas cotadas em escala real (1:1) e observações adicionais.

Figura 181: Desenho técnico - Palmilha Direita



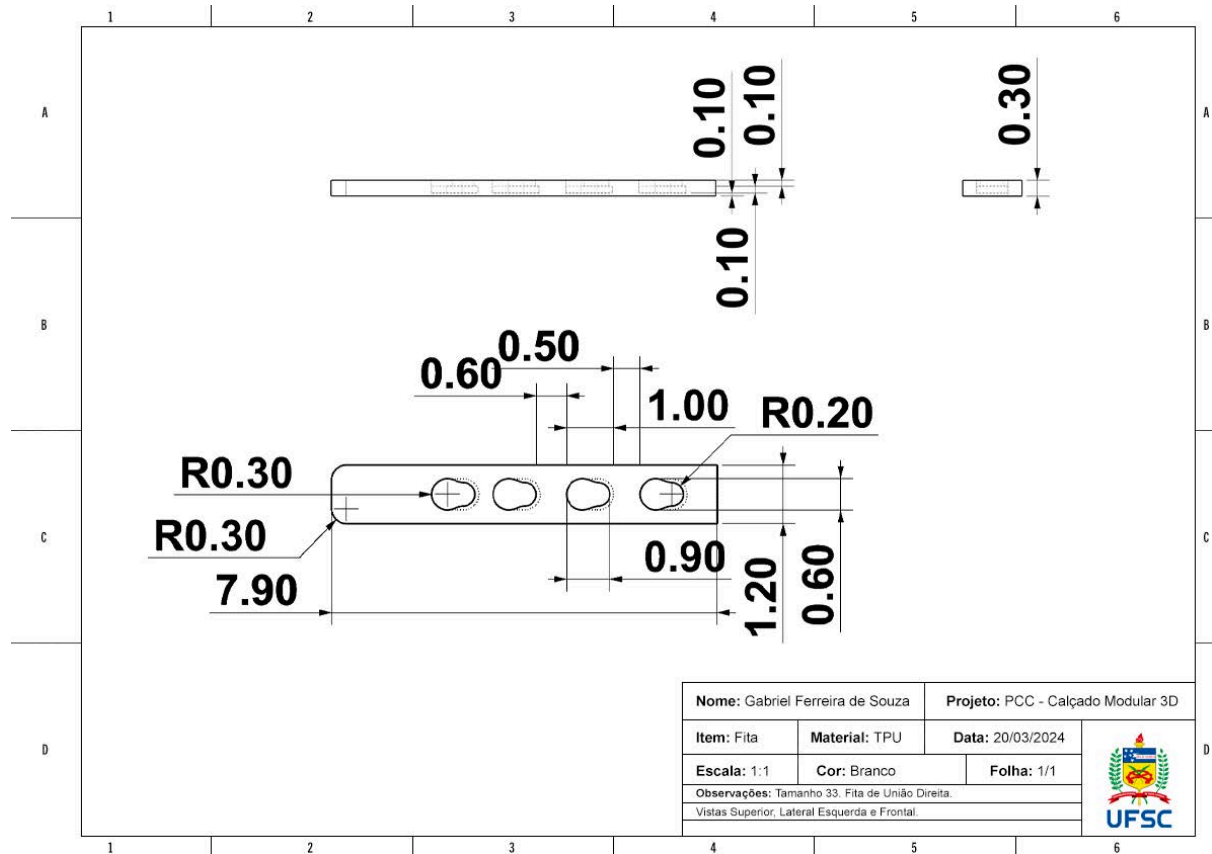
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 182: Desenho técnico - Cabedal Direito



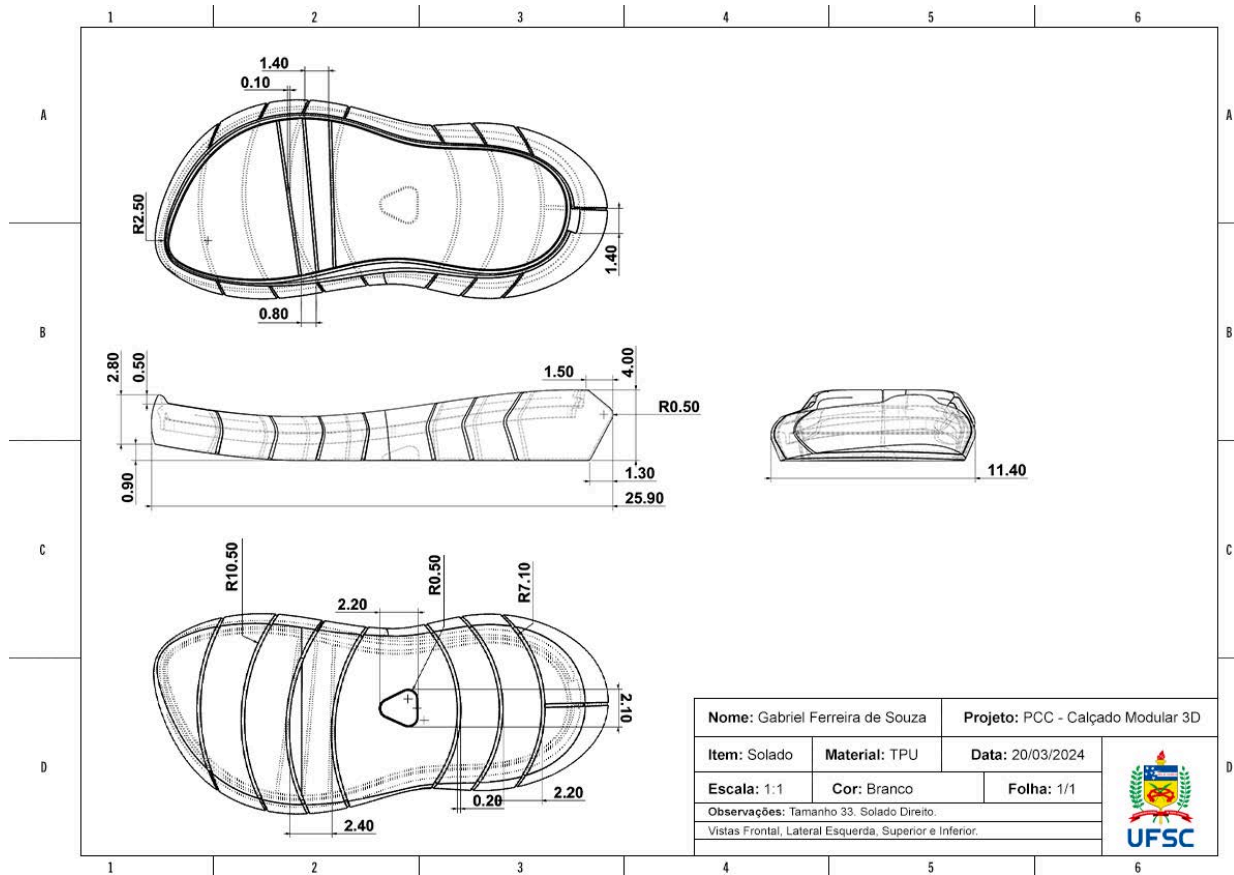
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 183: Desenho técnico - Fita de União Direita



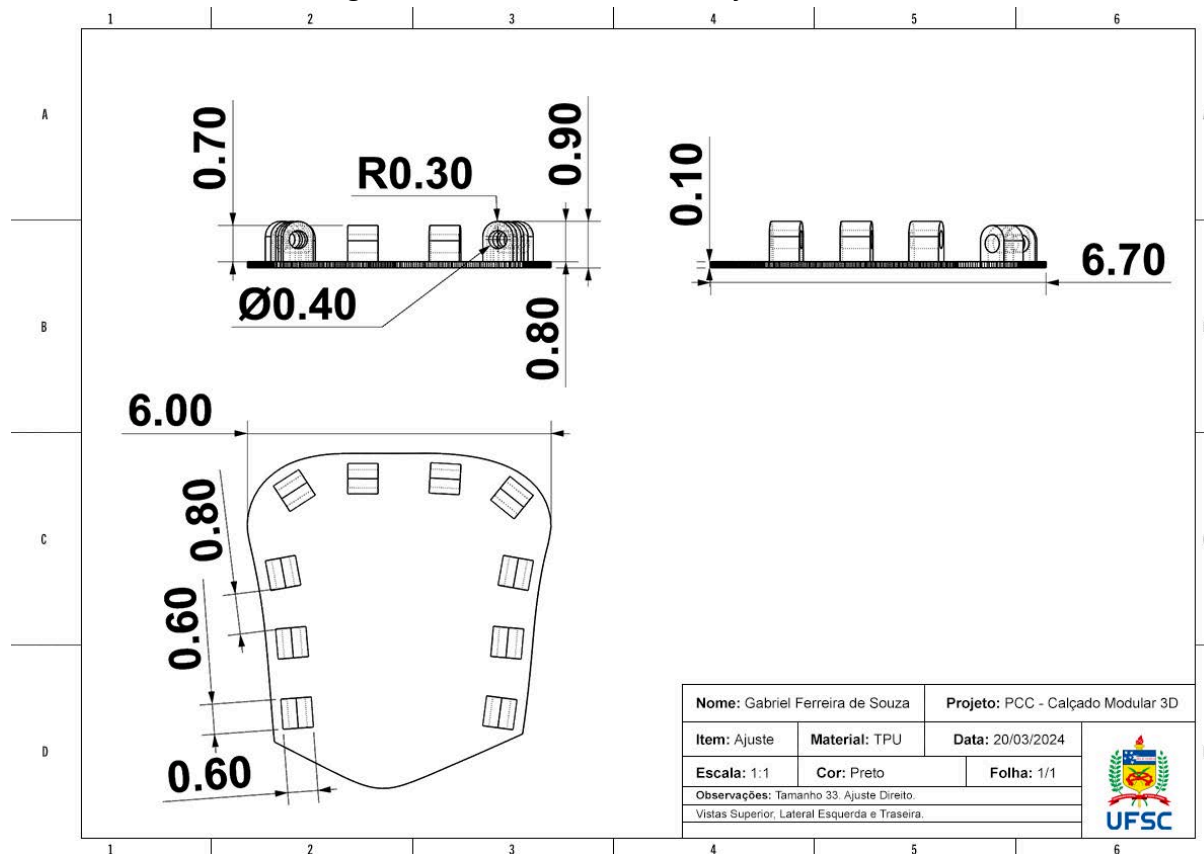
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 184: Desenho técnico - Solado Direito



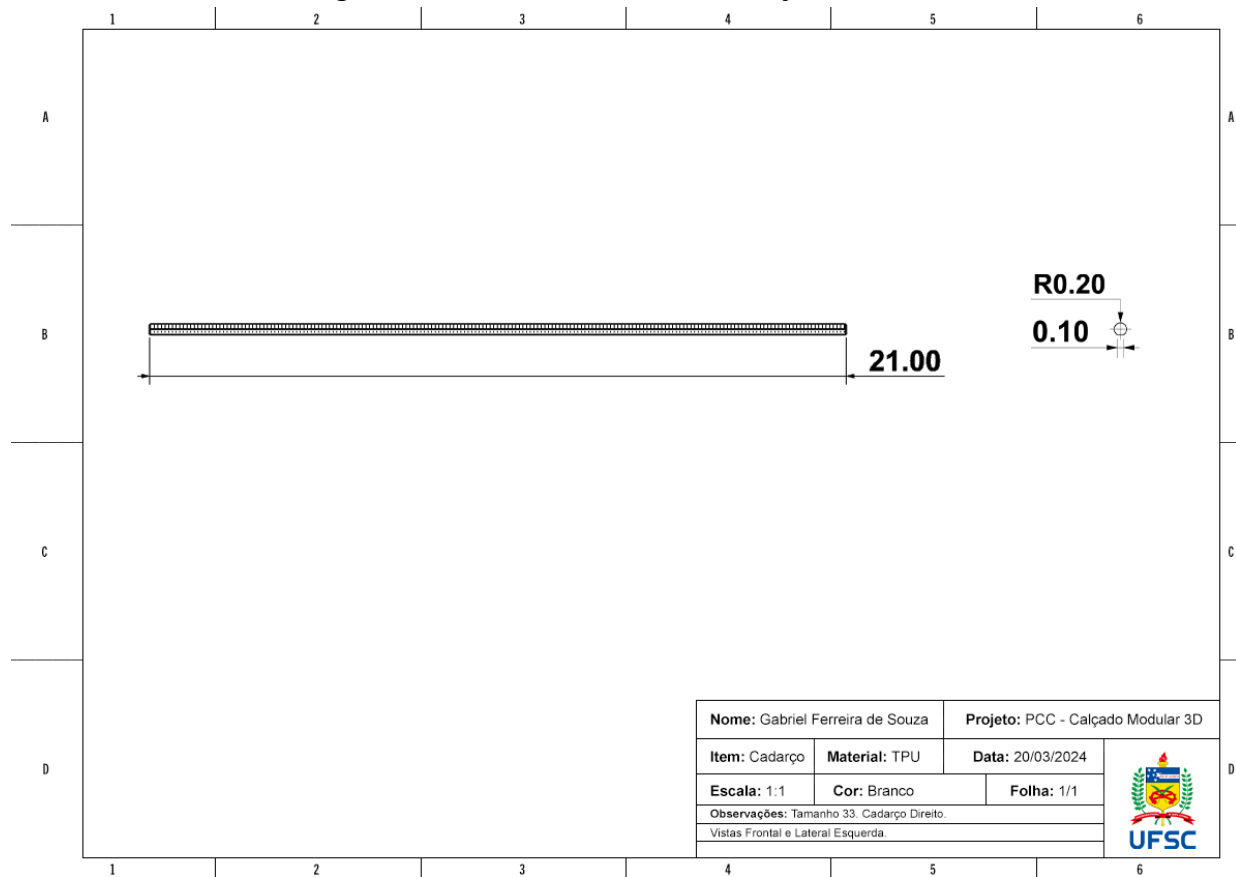
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 185: Desenho técnico - Ajuste Direito



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 186: Desenho técnico - Cadastrar Direito



Fonte: elaborado pelo autor.

4 REFERÊNCIAS

- (4) TECNOLOGIA e sistema de medidas usadas em forma para calçados. formas#medidas. [S.l: s.n.], 2020. 1 vídeo (7 min.) Publicado pelo canal Reformas NOVA fôrmas p/ calçados. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nIXXc3hZjzc>. Acesso em: 19 Março 2023.
- (6) DESENHO do perfil de original de forma 39. #formaecalçados. [S.l: s.n.], 2020. 1 vídeo (3 min.) Publicado pelo canal Reformas NOVA fôrmas p/ calçados. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4LSLUYQRcH0&t=62s>. Acesso em: 19 Março 2023.
- (8) MEDIDAS de originais, tabelas e escalas. #formasparacalçados. [S.l: s.n.], 2020. 1 vídeo (12 min.) Publicado pelo canal Reformas NOVA fôrmas p/ calçados. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ObowtN4_qll&t=210s. Acesso em: 19 Março 2023.
- 3D LAB (Belo Horizonte). **Tipos de preenchimento no Cura! Veja como configurar o infill neste software.** 2021. Disponível em: <https://3dlab.com.br/preenchimento-no-cura/>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- 3DSHOEMAKER. **Home.** Disponível em: <https://3dshoemaker.com/>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- ABICALÇADOS. **Relatório anual de atividades:** 2021. Novo Hamburgo: Associação Brasileira das Indústrias de Calçados, 2021. 54 slides, color. Disponível em: <https://assets.abicalcados.com.br/3384/Relat%C3%B3rio-Anual-2021.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- ACE GESTÃO DE SAÚDE. **MANUAL DE GONIOMETRIA:** medição dos ângulos articulares. Rio de Janeiro: Ace Gestão de Saúde Ltda, 2016. 50 slides, color. Disponível em: <https://acegs.com.br/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL-DE-GONIOMETRIA-FINAL.pdf>. Acesso em: 17 out. 2023.
- ACELERA3D (Espírito Santo). **Calculadora de Custos de Impressão 3D.** Disponível em: <https://acelera3d.com/calculadora-de-custos-de-impressao-3d/>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- AETREX© (Estados Unidos). **The Albert 3DFit Scanner.** Disponível em: https://www.aetrex.com/technology/albert-3dfit.html?lang=en_US. Acesso em: 09 mar. 2023.
- ADIDAS DA BRASIL (São Paulo). **TÊNIS ADIDAS 4DFWD X PARLEY.** Disponível em: <https://www.adidas.com.br/tenis-adidas-4dfwd-x-parley/GX6313.html>. Acesso em: 07 jan. 2023.
- ANATOMIA do Pé: Ossos do Tarso, Metatarsos e Falanges - Sistema Esquelético/Ósseo - VideoAula 053. São Paulo: Anatomia Fácil Com Rogério Gozzi, 2014. (13 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RmW-W1hVkNc>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ANATOMIA dos Músculos do Pé em 3D. S.l.: Motus Hominis, 2017. (7 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=C-epCboaol0&t=20s>. Acesso em: 17 set. 2023.

A NEW Product Design Paradigm (Lyf Shoes). [S.l.]: Lyf Shoes, 2015. (15 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=10RNib0VICs&t=591s>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13892**: Construção inferior do calçado: Terminologia. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 10 p. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=RTZYNHInb1A5bVltdithOWJydWIFQVBPZ2p_hbGhnNGtkZzRJZDnSjdNZz0= . Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14456**: Construção inferior do calçado: Solas, solados e materiais afins: Determinação da flexibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 6 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=YIErRUROWU9xL2RYSgdiUIJ5bTZCR3A3S21leDdVzZnuMGRhUVQ0eGIDMD0=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14835**: Calçados: Determinação da massa do calçado. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a. 5 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=SFI1UWVHMxgrRTFyZkw4ZEZxYIM5TTk3dTdNRU9QQnZ5aURhVEE0cHhxbz0=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15159**: Conforto de calçados e componentes: Determinação dos diferentes perfis para o mesmo número: Fôrmas. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 5 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=eklqTnVOQ0ZKS3RTU1NnZG4xeFJQdVYzeGF5c2ZNVkdoT0dxWnJQZ1FSND0=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15171**: Calçados: Determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a. 4 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=UUVYcGI0NU5PcVBiQjZ0SGZkVlpJeWZVbVluTUMyV2hRL1U2TWVqdfNpdz0=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16056**: Calçados : Determinação da resistência da descolagem entre solado e cabedal. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 7 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=QTNlaW1LWUxiRXVqQ2YyVWFJbUtXbC9hbHRyeVRiWGIWcmJUQVVBY2dHTT0=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16129**: Calçados: Determinação das marcações das regiões do calçado para ensaios físicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b. 3 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=b2RBaFloVGJrSlInZFdDcmp3b1E1NCs4T0w5QjBHUFNobGxPbmVlbi9udz0=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16453**: Calçados: Valores orientativos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c. 8 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=WFBra3JXbDB6d0dFVDYzVDc0NGxpNWJSQThuUEVxWfVgC2J3UzIEROVmTTO=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 17707**: Calçados: Método de ensaio para solas: Resistência à flexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017b. 8 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=QlExdTZzcUhRUjFjd0FKQ2x0cVlXYVNLaUJ1bEVNNXQ2aEt6WDNEZGJZTTO=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BEATRICE MURRAY-NAG (Milão). Designboom. **'shoetopia' project makes sneakers sustainable with biodegradable footwear, 3D-printed on demand**. 2017. Disponível em: <https://www.designboom.com/technology/shoetopia-project-04-21-2017/>. Acesso em: 08 jan. 2023.

BERWANGER, Elenilton Gerson. **Dossiê Técnico**. Formas e Sistemas de Medidas para Calçados - Centro Tecnológico do Calçado, Senai-RS, 2008. 53p. Disponível em: https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/formas_e_sistemas_de_medidas_para_calçados.pdf. Acesso em: 15 Março 2022.

BIOMECÂNICA DA MARCHA: Análise da Marcha Normal (Aula completa) - Rogério Souza. Londrina: Neurofuncional, 2018. (15 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4BiRCzCKrd0&t=492s>. Acesso em: 17 set. 2023.

BONSIEPE, Gui. **Metodologia experimental**: desenho industrial - Brasília : CNPQ/Coordenação Editorial, 1984. 86 p.

BOZANO, Samara; OLIVEIRA, Rui de. ERGONOMIA DO CALÇADO: os pés pedem conforto. **Unifebe**, Brusque, v. 9, n. 10, p. 1-19, 07 nov. 2011. Semestral. Disponível em: <https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/RevistaUnifebe/article/view/53/44>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRAUN PRIZE (Alemanha). **Shoetopia**: a sustainable sneaker production system. A Sustainable Sneaker Production System. 2018. Young Talents Category: Special Mention. Disponível em: https://www.braunprize.org/en/2018_shoetopia.html. Acesso em: 08 jan. 2023.

BUENO, Ricardo. **A história do calçado no Brasil**. Porto Alegre: Quattro Projetos, 2013. 120 p. Disponível em: https://issuu.com/077906/docs/sapatos_web. Acesso em: 15 mar. 2023.

BUGIN, Luis Augusto Kuwer. **Tênis para skate**: projeto para o fim do ciclo de vida. 2016. 130 f. TCC (Graduação) - Curso de Design de Produto, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/207043>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BUGIN, L. A. K. **Ecodesign: Aplicação da ferramenta Ciclo de Reciclagem de Materiais (CRM) no poliuretano termoplástico (TPU)**. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola

de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/199233>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CALVY CLICK (Estados Unidos). Complex. **KNOW YOUR TECH: under armour micro g foam.** Under Armour Micro G Foam. 2013. Disponível em: <https://www.complex.com/sneakers/a/calvy-click/know-your-tech-under-armour-micro-g-foam>. Acesso em: 07 jan. 2023.

CANGEMI, José Marcelo. **Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona.** 2006. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. doi:10.11606/T.75.2006.tde-26042007-091940. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-26042007-091940/publico/JoseMarceloCangemi.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CASE, Thomas A. Os Pés Brasileiros: um estudo profundo de 26.339 pessoas. São Paulo: Pés Sem Dor, 2012. Disponível em: <https://www.pessemdor.com.br/pesquisas/os-pes-brasileiros/>. Acesso em: 17 Set. 2023.

CEARÁ. Escola Estadual de Educação Profissional. Governo do Estado do Ceará Secretaria de Educação. **Curso Técnico em Massoterapia Biomecânica.** Fortaleza: EEEP, 2010. 43 slides, color. Ensino Médio Integrado à Educação Profissional. Disponível em: https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/01/massoterapia_biomecânica_cinesiologi. Acesso em: 20 maio 2023.

CELESC (Santa Catarina). Centrais Elétricas de Santa Catarina. **Tarifas de Energia.** 2023. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia>. Acesso em: 15 nov. 2023.

CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DA INDÚSTRIA DO CALÇADO (Portugal). **Integrating Companies in a Sustainable Apprenticeship System:** manual do formador: montagem de calçado. São João da Madeira: Cfpic, 2017. 35 slides, color. Disponível em: http://icsas-project.eu/wp-content/uploads/2019/07/Lasting_PT.pdf. Acesso em: 07 out. 2022.

CHEGOU A HORA DE CONHECER TODAS AS ARTICULAÇÕES DO PÉ. São Paulo: Anatomia Fácil Com Rogério Gozzi, 2020. (8 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XvMnaWsjM7A&t=407s>. Acesso em: 17 abr. 2023.

CHICARELLI, Gabriela. **Proposta de Entressola Customizável Fabricada com Impressão 3D.** 2022. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Design de Produto, Centro de Comunicação e Expressão, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237793>. Acesso em: 30 abr 2023.

CHOKLAT, Aki. **Design de Sapatos,** 2012. - 1. ed. - São Paulo : Senac, 2012. 192 p.

CINESIOLOGIA funcional dos movimentos de tornozelo e pé. Cutitiba: Dra. Denise da Vinha, 2016. (3 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DeNSfwfCSco&t=6s>. Acesso em: 17 out. 2022.

COSTA, Célia Regina da. **Uma análise nos principais aspectos da construção calçadista para o desenvolvimento de um solado-protótipo feito a partir de fibra de coco**. 2013. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. doi:10.11606/D.100.2013.tde-19042013-102234. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-19042013-102234/pt-br.php>. Acesso em: 4 Abril 2023.

COMPOSTOS (São Paulo). **O que é o TPE e quais as suas vantagens para a indústria?** 2020. Disponível em: <https://www.compostos.com.br/blog/industria/o-que-e-o-tpe>. Acesso em: 19 abr. 2023.

COMPOSTOS (São Paulo). **Principais diferenças entre TPU e TPE**. 2024. Disponível em: <https://www.compostos.com.br/blog/tpu-e-tpe>. Acesso em: 15 maio 2024.

COVESTRO (Alemanha). **Desmopan® EC TPUs make more sustainable steps with resources of the future**. 2020. Disponível em: <https://solutions.covestro.com/en/highlights/articles/stories/2020/more-sustainable-steps-with-new-tpu-series>. Acesso em: 08 jan. 2023.

DESIGNBOOM (Milão). Nick Brink. **Bruno truong creates recyclable shoes with engineered materials**. 2015. Disponível em: <https://www.designboom.com/technology/bruno-truong-recyclable-shoes-material-engineering-08-27-2015/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

DESIGN COUNCIL (Inglaterra). **The Double Diamond**: a universally accepted depiction of the design process.. A universally accepted depiction of the design process.. 2003. Disponível em: <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

DR. FRANK ROTHBARTH (Alemanha). Covestro. **Effective shoe manufacturing with 3D printing: fully recyclable shoes made from thermoplastic polyurethane**. Fully recyclable shoes made from thermoplastic polyurethane. 2019. Disponível em: <https://www.covestro.com/press/effective-shoe-manufacturing-with-3d-printing/>. Acesso em: 08 jan. 2023.

DYNALABS (São Paulo). **FILAMENTO FLEXÍVEL 500G 3NFLEX: 1.75mm - diversas cores**. 1.75MM - DIVERSAS CORES. [s.d.]a. Disponível em: <https://dynamylabs.com.br/produtos/filamento-flexivel-500g-3nflex-1-75mm-diversas-cores/?variant=345645426>. Acesso em: 10 abr. 2023.

DYNALABS (São Paulo). Dynamylabs Filamentos 3D Ltda. **Quem Somos**. [s.d.]b. Disponível em: <https://dynamylabs.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

É ASSIM QUE O FUTURO SE PARECE? | UNBOXING+REVIEW Nike ISPA Link. São Paulo: Sneakersbr, 2022. (16 min.), son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=M_iu_5osTc8. Acesso em: 10 mar. 2023.

ESCOBAR, Felipe Barros. **BIOMECÂNICA DO TORNOZELO, PÉ E DEDOS**. 2019. Disponível em: <https://proffelipebarros.com.br/biomecanica-do-tornozelo-pe-e-dedos/>. Acesso em: 20 maio 2023.

EVAN MALACHOSKY. Gear Patrol. **This Elon Musk-Backed 3D-Printed Sneaker Company Is Seeking Beta Testers**. 2022. Disponível em: <https://www.gearpatrol.com/style/shoes-boots/a40511043/zellerfeld-beta-testing/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

EXAME (São Paulo). **Designer cria sapato modular que facilita a reciclagem**. 2012. Disponível em: <https://exame.com/mundo/designer-cria-sapato-modular-que-facilita-a-reciclagem/>. Acesso em: 19 mar. 2023.

FIBER (Rio Grande do Sul). **TÊNIS FIBER 3D MAXIS**. Disponível em: <https://www.fiberoficial.com.br/products/tenis-fiber-3d-maxis?variant=43356158197977>. Acesso em: 07 jan. 2023.

FOOTWEAR, Code. **Gallery: 3d printed cleats**. 3D Printed Cleats. a. Disponível em: <https://www.codefootwear.com/gallery/x6trq1taupjb0p4u0sxujgf0gazmaa-hlwh3>. Acesso em: 08 jan. 2023.

FOOTWEAR, Code. **Foot Scanning: custom fit athletic shoes with 3d scanning**. Custom fit athletic shoes with 3D scanning. b. Disponível em: <https://www.codefootwear.com/foot-scanning>. Acesso em: 08 jan. 2023.

GERBER, Elena. **Mine**. 2012. Disponível em: <https://www.behance.net/gallery/3625553/mine>. Acesso em: 10 mar. 2023.

GOOGLE (Estados Unidos). **Pesquisar Google**. Disponível em: <https://www.google.com.br/>. Acesso em: 20 maio 2023.

GRILON3 (Argentina). Nieceza & Taverna Hnos.. **Simpliflex Blanco**. Disponível em: <https://grilon3.com.ar/producto/simpliflex-blanco/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GRUPO BELL;ARTE (Santa Catarina). **Lançamento | Tecido Knit**. Disponível em: <https://www.bellarteliving.com.br/c%C3%B3pia-de-cartela-11000---knit>. Acesso em: 19 abr. 2023.

GTMAX3D (São Paulo). Gtmax3D Equipamentos Eletronicos e Materiais Plasticos Ltda. **IMPRESSORA 3D - CREALITY ENDER 3 MAX NEO**. Disponível em:

<https://www.gtmax3d.com.br/impressoras3d/importadas/ender3maxneo>. Acesso em: 15 nov. 2023.

GUANIS DE BARROS VILELA JUNIOR (São Paulo). Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida. **TORNOZELO E PÉ**. Campinas: Cpaqv, 2017. 20 slides, color. Disponível em: <https://www.cpaqv.org/cinesiologia/tornozeloepe.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

HAYLEY EVERETT. 3D Printing Industry. **ADIDAS AND CARBON UNVEIL LATEST 4D MIDSOLE 4DFWD TO BOLSTER RUNNING PERFORMANCE**. 2021. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/news/adidas-and-carbon-unveil-latest-4d-midsole-4dfwd-to-bolster-running-performance-189558/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

HERON PRESTON (Alemanha). Zellerfeld. **HERON01**. Disponível em: <https://www.zellerfeld.com/product/anMKhlzvQ5cY22xYw27H>. Acesso em: 07 jan. 2023.

IEMI - Inteligência de Mercado. **Overview Mercado Potencial de Calçados**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fgabrielsouza9@gmail.com>. em: 22 Jun. 2022.

IIDA, ITIRO. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

IMPRESORAS3D.COM (Espanha). Impresoras3D.Com. **Under Armour lança alguns sapatos feitos com impressão 3D**. 2018. Disponível em: <https://www.impresoras3d.com/pt/under-armour-estrena-unas-zapatillas-hechas-con-impression-3d/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

ISUN3D (China). **Scanner de Pés iSUN3D para palmilhas**. Disponível em: <https://www.isun3d.net/pt/ifeet-scanner-product/>. Acesso em: 09 mar. 2023.

JACKSON, James. **Discover the average ankle size for women and men and learn how to measure your ankle circumference**. 2022. Disponível em: <https://criticalbody.com/average-ankle-size/>. Acesso em: 24 mar. 2023.

JLM TECIDOS (Santa Catarina). **Tecido Tela Spacer 3D Mesh**: 100% poliamida 1,55m largura - cinza medio. 100% Poliamida 1,55m Largura - Cinza Medio. Disponível em: <https://www.jlmtecidos.com.br/tecido-tela-spacer-3d-mesh-100-poliamide-1-55m-largura-cinza-medio-10408>. Acesso em: 18 abr. 2023.

KICKSTARTER (Estados Unidos). **Shooz**: the world's first modular-tech travel shoe. The World's First Modular-Tech TRAVEL SHOE. 2017. Disponível em: <https://www.kickstarter.com/projects/made2share/shooz-worlds-first-travel-shoe-modular-and-customi>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KICKSTARTER (Estados Unidos). **Ki ecobe**: customizable self assembled footwear. Customizable Self Assembled Footwear. 2018. Disponível em: <https://www.kickstarter.com/projects/1121278858/ki-ecobe-customizable-self-assembled-footwear/description>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KIRI INNOVATION (Canadá). **KIRI Engine**: 3d scanner app for iphone, android and web. 3D Scanner App for iPhone, Android and Web. Disponível em: <https://www.kiriengine.app/>. Acesso em: 09 mar. 2023.

KOHAN, Laís. **Sustentabilidade em calçados**: panorama brasileiro, materiais e contribuição de material para solado. 2021. 205p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de pós graduação em Têxtil e Moda, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. <https://doi.org/10.11606/D.100.2020.tde-19012021-171127>. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-19012021-171127/pt-br.php>. Acesso em: 30 Abril 2022.

KÖRBES, Rafael. **O Design de Sistemas Modulares** - Customização em Massa de Produtos de Moda. 2015. 252p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/133133>. Acesso em: 25 Abr. 2023.

LIGER, Ilce. **Modelagem de Calçados**: Técnicas e passo a passo. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015

LONG TRAN. Yanko Design. **FULLY MODULAR RECYCABLE TRAINER**. 2007. Disponível em: <https://www.yankodesign.com/2007/07/25/fully-modular-recycable-trainer/>. Acesso em: 19 mar. 2023.

LUTRACAD (Holanda). a. **Foot Scanners & Software**: advanced orthopedic solutions. Advanced orthopedic Solutions. Disponível em: <https://www.lutracad.com/scanners>. Acesso em: 30 mar. 2023.

LUTRACAD (Holanda). b. **LUTRACAD**: outstanding orthopedic software solutions. Outstanding Orthopedic Software Solutions. Disponível em: <https://www.lutracad.com/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

LYF Is Crowdfunding DIY Green Shoes. São Francisco: Techcrunch, 2013. (3 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Fdl6FienwOA>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LYF Shoes. [S.l.]: Yol Deng, 2014. (3 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sCUEzXD1aLE>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LYF Fit Kit Instructional Video. [S.l.]: Lyf Shoes, 2015. (1 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OMPeny5Ee4I>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MATEUS MARTINEZ (São Paulo). Pés Sem Dor. **Baropodometria**. 2022. Disponível em: <https://www.pessemdor.com.br/blog/baropodometria/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

MCTI (Brasil). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **RELATÓRIO DE REFERÊNCIA**: setor resíduos. 4. ed. Brasília: Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, 2021. 142 p. Disponível em:

https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_4cn_residuos_final_set2020.pdf. Acesso em: 25 nov. 2023

MENIN, Mariana. **Antropometria das extremidades dos membros inferiores de obesos:** parâmetros para o design ergonômico de calçados. 2009. 86p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru -SP, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/1a6c1118-b66f-4ff6-81a5-1df42b02c0d9>. Acesso em: 12 Maio 2022.

MENSURAR ASSOCIAÇÃO JÚNIOR (Rio de Janeiro). Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Fotogrametria**. 2021. Disponível em: <https://www.mensurarjunior.com/post/fotogrametria>. Acesso em: 09 mar. 2023.

MICHAEL MOLITCH-HOU. 3D Printing Industry. **LYF: Stepping into Sustainability with 3D Printing , Custom Clothes & Arduinos**. 2014. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/news/lyf-stepping-sustainability-3d-printing-custom-cloths-arduin-36600/>. Acesso em: 07 abr. 2023.

MICHAEL PETCH (Reino Unido). 3D Printing Industry. **3D PRINTING SHOES, AN INTERVIEW WITH GENESIS PROJECT DESIGNER AMADOU BA NDIAYE**. 2017. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-shoes-interview-genesis-project-designer-amadou-ba-ndiaye-111042/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

MINUTO da Anatomia #16 - Termos de Direção Anatômica - Anatomia Humana. São Paulo: Anatomia Fácil Com Rogério Gozzi, 2019. (3 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZqgmRJRHH0Y>. Acesso em: 06 mar. 2023.

MORPURGO, Eugenia. **Repair It Yourself**. 2011. Disponível em: <https://www.eumo.it/Repair-It-Yourself-2011>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MOTYLINSKA, Barbara. **Portfolio: shoetopia**. Shoetopia. 2017. Disponível em: <https://cargocollective.com/bmotylinska/shoetopia>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MOVIMENTOS do Tornozelo em 3D. S.I.: Motus Hominis, 2018. (4 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rylbbop2OyM>. Acesso em: 17 set. 2023.

MÜLLER, Marçal. **COMO PRODUZIR CALÇADOS COM MENOR CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL?** 2017. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Design, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.feevale.br/Vinculo2/000011/0000111b.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MUSEU DO CALÇADO (Portugal). **Museu do Calçado** - Visitas Virtuais. 2021. Disponível em: <https://www.museu-do-calcado.pt/pt/museu-do-calcado>. Acesso em: 4 Fevereiro 2024.

MUVEZ (Estados Unidos). **Muvez Footwear:** convertible house shoes x sneakers. Convertible House Shoes x Sneakers. 2023. Disponível em: <https://www.muvez.co/>. Acesso em: 07 abr.

2023.

LYF Shoes. [S.l.]: Gamildesign, 2012. (1 min.) Son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0Xr-uxtKjnA>. Acesso em: 10 mar. 2023.

NERVOUS SYSTEM BLOG (Estados Unidos). **Data-customized midsoles with New Balance**. 2015. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=7048>. Acesso em: 07 jan. 2023.

NETVIRTA® (Estados Unidos). Verifyt®. Disponível em: <https://www.verifyt.com/>. Acesso em: 09 mar. 2023.

NEW BALANCE (Estados Unidos). **NEW BALANCE TO SELL FIRST 3D PRINTED RUNNING SHOE**. 2016. TheNewsMarket. Disponível em: <https://newbalance.newsmarket.com/running/new-balance-to-sell-first-3d-printed-running-shoe/s/c795df88-b76f-4ed4-8a02-b186981dadf7?cultureSeoName=GLOBAL>. Acesso em: 07 jan. 2023.

NEWLAST GROUP (Itália). **EASYLAST 3D**: design and modification of shoe lasts. Design and modification of shoe lasts. 2024. Disponível em: <https://www.newlast.com/prodotto/easylast-3d-cad-cam/?lang=en>. Acesso em: 19 abr. 2024.

NEWSON, Marc. **Zvezdochka Sneaker**. 2004. Disponível em: <https://marc-newson.com/zvezdochka-sneaker/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

NGUYEN, Lucile. **UP-PART**. Disponível em: <https://www.lucillenguyen.com/up-part>. Acesso em: 10 mar. 2023

NIKE (Estados Unidos). **Nike ISPA Link Men's Shoes**. Disponível em: <https://www.nike.com/t/ispa-link-mens-shoes-lGv2fV>. Acesso em: 10 mar. 2023.

NTH (Argentina). Nicieza & Taverna Hnos. **Safety Data Sheets**: tpu/flexible 3d printer monofilament.. Buenos Aires: Nth, 2017. 16 p. Disponível em: https://www.nth.com.ar/es/index.php?controller=attachment&id_attachment=17. Acesso em: 25 nov. 2023.

NTH (Argentina). Nicieza & Taverna Hnos. **Filamento para impresoras 3D Simpliflex**: filamento 3d grilon3 simpliflex. Filamento 3D Grilon3 Simpliflex. Disponível em: <https://www.nth.com.ar/es/monofilamentos/75-filamento-pu-p-impresoras-3d.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

OLIVEIRA, Vinicius; SANTANA, Ruth Marlene Campomanes. Reciclabilidade de resíduos de Elastômeros Termoplásticos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3., 2012, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Caxias do Sul: Ucs, 2012. p. 1-8. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=169&ano=terceiro>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ORIGEM DA PALAVRA (Brasil). **Tênis**: palavras. Palavras. 2006. Disponível em: <https://origemdapalavra.com.br/palavras/tenis/>. Acesso em: 20 maio 2023.

PAZMINO, Ana Veronica. **Projeto Conceitual. Técnicas de Criatividade**: Brainstorming. Geração de alternativas. Rio de Janeiro: Ana Veronica Pazmino, 2010a. 26 slides, color.

PAZMINO, Ana Veronica. **Síntese – Criatividade – Materialização**: Seleção da melhor alternativa. Aperfeiçoar a alternativa escolhida. detalhar a solução. Rio de Janeiro: Ana Veronica Pazmino, 2010b. 45 slides, color.

PAZMINO, Ana Veronica. **Técnicas de criatividade**: Matriz morfológica, geração de alternativas. Rio de Janeiro: Ana Veronica Pazmino, 2010c. 22 slides, color.

PEDROSO, Ana Luiza. **Sensores Lidar**: entenda o que são e como funcionam!. Entenda o que são e como funcionam!. 2020. Adrenaline@. Disponível em: <https://www.mundoconectado.com.br/drones/sensores-lidar-entenda-o-que-sao-e-como-funcionam/>. Acesso em: 09 mar. 2023.

PÉS SEM DOR (São Paulo). **Formato dos dedos**. Disponível em: <https://www.pessemdor.com.br/saude-e-qualidade-de-vida-a-relacao-com-os-pes-tornozelo-s-e-joelhos/formato-dos-dedos/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PODOTECH (Paraná). **Você sabe o que e para o que serve um Plantígrafo?** Disponível em: <https://podotech.com.br/paraqueserveoplantigrafo>. Acesso em: 14 mar. 2023.

POLYCAM, 2020. **Polycam - Press kit** - Imagens of Scanning. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/17-TCzCp23IDsbWqF6YMDPEyBICj4kH2b?usp=sharing>. Acesso em 9 Março 2023.

POLYCAM. **Polycam** - LiDAR & 3D Scanner for iPhone & Android. Disponível em: <https://poly.cam/>. Acesso em: 9 Março 2023.

PUPO, Regiane Trevisan. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 1, n. 3, p. 80–98, 2008. DOI: 10.20396/parc.v1i3.8634511. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634511>. Acesso em: 10 jun. 2023. (PUPO, 2008)

PUPO, Regiane Trevisan. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto**: um novo desafio para o ensino de arquitetura. 2009. 240 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1609348>. Acesso em: 10 jun. 2024. (PUPO, 2009)

PUPO, Regiane Trevisan. **Impressão 3D**: a manufatura aditiva. Florianópolis: Pronto 3D, 2021. 72 slides, color.

REEBOK Liquid Floatride Running Shoe Review. Pittsburgh: Tiffany Beers, 2018. (5 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PklGoilBGZo>. Acesso em: 07 jan. 2023.

REED, Alexander. **Modular Shoe**. [2017]. Autodesk Instructables. Disponível em: <https://www.instructables.com/Modular-Shoe/>. Acesso em: 18 mar. 2023.

REHFELDT, Márcia Jussara Hepp. **Uma heurística aplicada a um problema de escalonamento na indústria calçadista**. 2001. 98 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/2126>. Acesso em: 14 Maio 2022.

REVISTA PLÁSTICO INDUSTRIAL (São Paulo). Aranda Editora Técnica e Cultural. **Estudo mapeia o mercado de elastômeros termoplásticos**. 2021. Disponível em: <https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/1461-Estudo-mapeia-o-mercado-de-elastomeros-termoplasticos.html#:~:text=O%20instituto%20alem%C3%A3o%20de%20pesquisa,US%20%24%2021%20bilh%C3%B5es%20at%C3%A9%202027>. Acesso em: 25 nov. 2023.

REVISTA TECNICOURO (Rio Grande do Sul). **Laminados em PU com benefícios ambientais**. 2022. Disponível em: <https://www.tecnicouro.com.br/post/laminados-em-pu-com-benef%C3%ADcios-ambientais>. Acesso em: 19 abr. 2023.

RHINOCEROS (Estados Unidos). Robert McNeel & Associates. **Buy Rhinoceros: latin america**. Latin America. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/en/sales/latin-america/Brazil>. Acesso em: 19 maio 2023.

RHINOCEROS (Estados Unidos). Robert McNeel & Associates. **Rhinoceros Help: what is rhino?. What Is Rhino?**. Disponível em: https://docs.mcneel.com/rhino/6/training-level1/en-us/Default.htm#topics/01_introduction_2.htm%3FTocPath%3D_____5. Acesso em: 19 maio 2023.

RUNNER EXPERT. **Reebok Liquid Floatride Run Review**. 2019. Disponível em: <https://runnerexpert.com/reebok-liquid-floatride-run-review/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

SAGROL TECIDOS (Rio de Janeiro). **TNT (TECIDO NÃO TECIDO) GRAMATURA 80: verde 100% polipropileno com 1,40 lg. VERDE 100% POLIPROPILENO COM 1,40 LG**. Disponível em: <https://www.sagroltecidos.com.br/tnt/tnt-tecido-nao-tecido-gramatura-80-verde-100-polipropileno-com-1-40-lg--p>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SBRT, 2013. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas; **Sistema Strobel de montagem de calçado**: Informações sobre o processo de montagem de calçado utilizando o sistema Strobel; Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI-RS; Centro Tecnológico do Calçado SENAI, 2013. 4 páginas. Disponível em: <https://respostatecnica.org.br/busca/sistema-strobel-de-montagem-de-calcado/24605/tecnica>. Acesso em: 07 de Novembro de 2022.

SCULP LEATHER STORE (Rio Grande do Sul). **COURO BOVINO**: vestuário citta 0.5/0.7mm brown. VESTUÁRIO CITTA 0.5/0.7MM BROWN. Disponível em: <https://www.sculpleather.com.br/couro-bovino-vestuario-citta-0507mm/brown>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SCHMIDT, Mauri Ruben. **Dossiê Técnico**. Modelagem Técnica do Calçado - Centro Tecnológico do Calçado, Senai-RS, 2007. 32p. Disponível em: https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/modelagem_tecnica_do_calçado.pdf. Acesso em: 20 Abril 2022.

SETHI3D (São Paulo). **MANUAL DO USUÁRIO**: impressora sethi3d aip a3 v3.0. IMPRESSORA SETHI3D AiP A3 V3.0. 2018. Disponível em: <https://www.sethi.com.br/blog/wp-content/uploads/2019/03/Manual-Cura-4.0-AiP.pdf> Acesso em: 18 maio 2023.

SETHI3D (São Paulo). **Impressora Sethi3D S3**. Disponível em: <https://www.sethi3d.com.br/impressora-sethi3d-s3>. Acesso em: 18 maio 2023.

SHOEMASTER (Itália). Atom. **2D and 3D footwear models**: shoemaster® software. Shoemaster® Software. Disponível em: <https://atom-shoemaster.com/en/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SMART3DWORKS (Lituânia). Ortho Baltic. **Smart3DWorks**. Disponível em: <https://smart3dworks.com/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SMART3DWORKS last modeling workflow. Kaunas: Ortho Baltic, 2022. (4 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2zsdVvJq41A&t=123s>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SOUZA, Andreia; TAVARES, João Manuel R. S.. A marcha humana: uma abordagem biomecânica. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF HEALTH, 1., 2010, Gaia-Porto. **Artigo em Livro de Atas de Conferência Internacional**. Gaia-Porto: Instituto Politécnico do Porto, 2010. p. 46-54. Disponível em: https://web.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/artigos/IHC_2010_AS.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurelio de. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 65-72, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422005000100014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2023.

STRAIOTO, Ricardo Goulart T.; BUCKSTEGGE, João Ricardo dos Santos Kleine; GRIEDER, Gustavo Duarte. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E DE IMPACTO AMBIENTAL DE MATERIAIS APLICADOS AO DESIGN DE EMBALAGENS. **Revista Transverso**, [S. l.], v. 1, n. 14, 2024. DOI: 10.36704/transverso.v1i14.8215. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/transverso/article/view/8215>. Acesso em: 13 mar. 2024.

UNDER ARMOUR (São Paulo). **Tênis de Treino Masculino Under Armour ArchiTech Futurist**. 2023. Disponível em: <https://www.underarmour.com.br/tenis-de-treino-masculino-under-armour-architech-futurist-3000347-001/p>. Acesso em: 07 jan. 2023.

ULTIMAKER (Holanda). **UltiMaker Cura**. Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 18 maio 2023.

UNIDADES de medidas usadas em formas para calçados(5). [S.l: s.n.], 2020. 1 vídeo (4 min.) Publicado pelo canal Reformas NOVA fôrmas p/ calçados. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xF6LkEaPyY&t=148s>. Acesso em: 19 Março 2023.

VALINOS (Alemanha). Pedcad Foot Technology Gmbh. **Orthopedic trend shoes**. Disponível em: <https://www.valinos.me/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

VANESSA SARDINHA DOS SANTOS (Goiânia). Mundo Educação. **Sistema tegumentar**: como é formado, função. como é formado, função. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/sistema-tegumentar.htm>. Acesso em: 27 maio 2023.

VANS (Espírito Santo). **TÊNIS OLD SKOOL TAPERED DX VANS X MESH MODULAR WHITE**. Disponível em: <https://www.vans.com.br/tenis-old-skool-tapered-dx-vans-x-mesh-modular-white/p/1002002260001U>. Acesso em: 19 mar. 2023.

VICENTE, Catarina Lopes. **O design de calçado e a impressão 3D**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design de Moda, Departamento de Ciência e Tecnologia Têxteis, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2016. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/5812/1/4863_9665.pdf. Acesso em: 17 set. 2023.

VÍDEO aula Músculos envolvido na movimentação do pé. Maringá: Cláudia Pinheiro, 2017. (7 min.), son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=AFic_zXBnHM. Acesso em: 17 set. 2023.

VISMACH TECHNOLOGY (China). **ScanPod3D**: laser foot scanner | orthotic insole cad & cam. Laser Foot Scanner | Orthotic Insole CAD & CAM. Disponível em: <https://scanpod3d.com/upods.html>. Acesso em: 22 mar. 2023.

VOCÊ PISA CERTO? O que fazer? | Pés Sem Dor. São Paulo: Pés Sem Dor, 2016. (4 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KfNvtoHh17A>. Acesso em: 17 set. 2023.

VORUM (Canadá). **YETI™ 3D Foot Scanner**: cad cam for prosthetics & orthotics. CAD CAM for Prosthetics & Orthotics. Disponível em: <https://vorum.com/yeti-3d-foot-scanner/>. Acesso em: 09 mar. 2023.

WEAR TESTED. **Quick & Precise Gear Reviews**. Urshuz Brax. 2011. Disponível em: <https://weartested.org/urshuz-brax>. Acesso em: 06 abr. 2023.

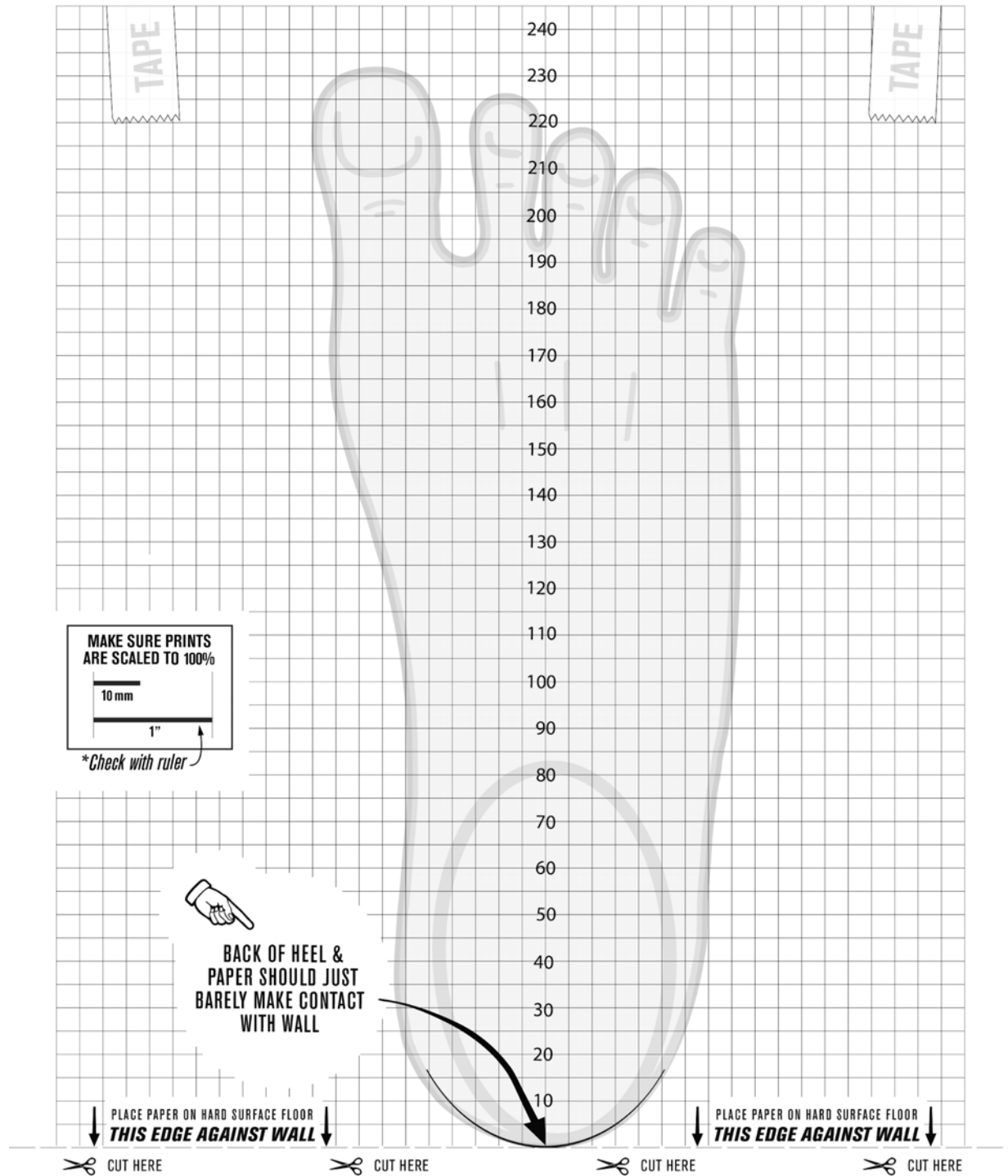
WIDAR (Japão). **3D Edit, Scan and Compose**. Disponível em: <https://www.widar.io/>. Acesso em: 09 mar. 2023.

WIKIPÉDIA. **Tênis (vestuário)**. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/T%C3%AAnis_\(vestu%C3%A1rio\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/T%C3%AAnis_(vestu%C3%A1rio)). Acesso em: 20 maio 2023.

ZELLERFELD (Alemanha). Zellerfeld. **Zellerfeld Shoe Company Inc**. Disponível em: <https://www.zellerfeld.com>. Acesso em: 07 jan. 2023.

5 ANEXOS

Anexo A - Folha milimetrada auxiliar 1 - Code Footwear

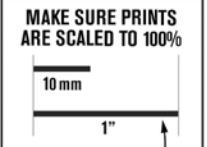


Fonte: FOOTWEAR, 2023b.

Anexo B - Folha milimetrada auxiliar 2 - Code Footwear

STEP 1

MAKE SURE PRINTS ARE SCALED TO 100%



**Check with ruler*

STEP 2

Trim top and bottom off of papers along dotted lines.

**If your feet measure longer than 1 paper length, make sure to tape this sheet to the other for an extended ruler*

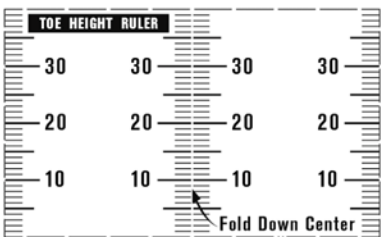
STEP 3

Place paper(s) on a hard surface floor and butted up against a wall.

Stand on paper with heel just barely making contact with the wall behind you and take pictures of each foot

STEP 4

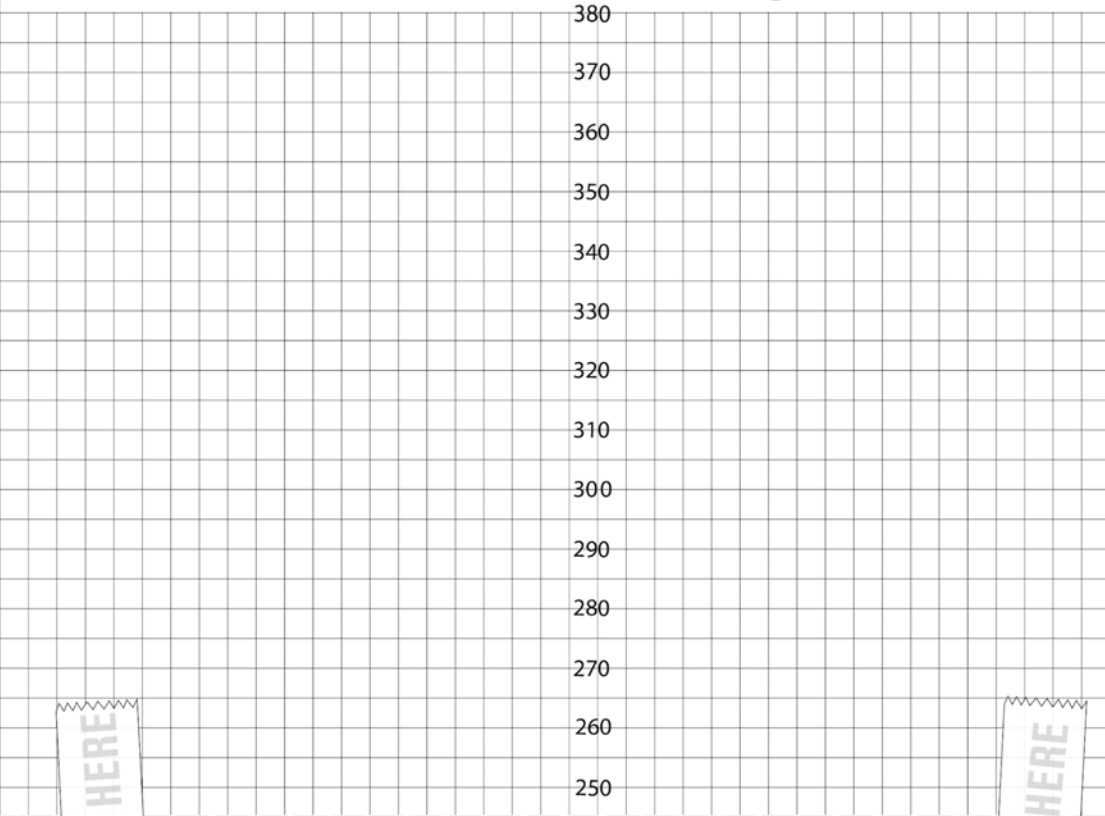
Cut out ruler along this dashed line for Big Toe height measurements



STEP 5 Take SIDE VIEW picture of big toe measurement
**See website for details*

STEP 6 Take FRONT VIEW picture of big toe measurement

STEP 7 Email pictures to: INFO@CODEFTWR.COM



6 MEIO DE REPRESENTAÇÃO “TRIDIMENSIONAL”

Vídeo de Apresentação PCC Gabriel Ferreira de Souza disponível no link:

<https://youtu.be/tBgFGabAMRU>